معهد الإنماء العربي

التفجيرات النووية للتطبيقات السلمية

د. محمد عبد المعبود الجبيلي

١٩٨٢

التكنولوجيا النووية في البلدان النامية

٧

التفجيرات النووية للتطبيقات السلمية

معهد الانماء العربي

التفجيرات النووية للتطبيقات السلمية

د. محمد عبد المعبود الجبيلي

الجماهيرية العربية الليبية الشعبية الاشتراكية
طرابلس ـ ١٩٧٩

سلسلة كتب « التكنولوجيا النووية في البلدان النامية »

تصدر عن:

معهد الانماء العربي، برنامج العلم والتكنولوجيا
بيروت ـ لبنان

الطبعة الاولى بيروت ١٩٨٢

جدول المحتويات

الفصل الأول

الفصل الثاني

الفصل الثالث

الفصل الرابع

الفصل الخامس

الفصل السادس

الفصل السابع

الفصل الثامن

الفصل الأول

مقدمة

زود ألبرت أينشتاين المجتمع العلمي في نظريته الخاصة للنسبية، تلك النظرية الشهيرة، بعلاقة الكتلة ـ الطاقة:

$$ط = ك\ س^{٢}$$

حيث ط تمثل الطاقة، ك الكتلة، وس سرعة الضوء.

ومنذ ذلك الوقت أصبح حلماً للعلماء والمهندسين أن يكتشفوا الوسيلة التي يمكن بها تحويل الكتلة الى طاقة فيقدموا بذلك مصدراً غير محدود للطاقة. وفي خلال النصف الأول من القرن الحالي، أدت سلسلة من الاكتشافات العلمية الكبرى الى اكتشاف ظاهرة الانشطار وفيها يتحول حوالي جزء من ألف من كتلة النواة المنشطرة الى طاقة. وبعد ذلك قدم اكتشاف التفاعل النووي المتسلسل الأساس لاستمرار حدوث تحول المادة هذا الى طاقة. وأهم المصادر الانشطارية اليوم هي نوايات اليورانيوم ـ ٢٣٥ واليورانيوم ـ ٢٣٣ والبلوتونيوم ـ ٢٣٩.

ومن المؤسف أن أول تطبيق لتفاعل الانشطار المتسلسل كان في شكل القنبلة الانشطارية (الذرية) حيث تتحول كتلة حرجة أو فوق حرجة من المادة الانشطارية الى كمية مكافئة من الطاقة الانفجارية. ولقد كانت حصيلة أول قنبلة انشطارية حوالي ٢٠ ك ط (٢٠٠٠٠ طن) من ت ن ت. وعلى أي حال فلقد كان التطبيق الرئيسي الثاني في انتاج الكهرباء حيث قد تم تشغيل عدد

كبير من محطات القوى النووية في مجموعة متنوعة من البلدان المتقدمة والنامية. وتخصص التنبؤات الحديثة رقماً ذا دلالة ٣٠ ـ ٣٥٪ للدور المتوقع للقوى النووية في انتاج الكهرباء على مستوى العالم مع نهاية هذا القرن.

ومن ناحية أخرى، كان هناك خط آخر للبحث والتطوير نشط في مجال الاندماج. وأثبت أنه في تفاعل الاندماج بين نوايات الأيدروجين الثقيل، يد[٢]، يد[٣]، فان الهيليوم يتكون في النهاية ويتحول نحو جزء من مائة من الكتل المتفاعلة الى طاقة. وعلى أي حال فان احداث هذا التفاعل على نطاق واسع يتطلب تسخين الأيدروجين الى درجة حرارة حوالي ١٠٠ مليون درجة مئوية (قريبة من ضعف درجة حرارة مركز الشمس) وذلك حتى يمكن التغلب على قوة التنافر الأليكتروستاتيكي بين النوايات المندمجة.

ومن سوء الحظ مرة أخرى أن كان أول تطبيق لتفاعل الاندماج الحراري النووي في شكل القنبلة الأيدروجينية حيث يستخدم متفجر انشطاري كمفجر يقوم باحداث درجة الحرارة اللازمة للانفجار الأيدروجيني. والواقع ان لتفاعل الاندماج النووي الحراري مجموعة من المزايا كمصدر للطاقة فوق تفاعل الانشطار المتسلسل وذلك للوفرة الكبيرة والرخص النسبي للأيدروجين الثقيل، وكذلك من زاوية الانفجار نظراً لحقيقة أنه لا يوجد قيد الحرجية على حصيلة الانفجار.

وكنتيجة لذلك فان متفجرات نووية حرارية على مدى واسع من الحصائل حتى مدى الميجاطن قد جرى انتاجها بواسطة الدول المالكة للأسلحة النووية. ويجرى حالياً نشاط مكثف في البحث والتطوير في المجال السلمي ويعطي آمالاً في امكان استخدام هذا المصدر الهائل للطاقة في انتاج الكهرباء خلال العقود القليلة الأولى من القرن المقبل.

ويتمثل الجانب الآخر لهذه المسألة فيما اذا كان من الممكن أن تستخدم

المتفجرات النووية ، انشطارية كانت أو حرارية نووية ، كوسيلة لتطبيقات التفجير السلمية . ويجري التشابه هنا مع المتفجرات الكيميائية . فمنذ اكتشاف هذه المتفجرات جرى استخدامها لأغراض عسكرية على مدى القرون القليلة الماضية . ولكن في مرحلة لاحقة فقد ادى إبداع الانسان الى تطبيقها في مجموعة متنوعة واسعة من المجالات السلمية (١) . فالمتفجرات الكيميائية العالية تستخدم اليوم في التعدين وشق القنوات ونسف العوائق الصخرية من مجاري السفن وبدء توهج آبار الزيت المتانعة وحفر الخنادق . وهي وسائل مفيدة في أعمال الانشاء الحديثة وفي العمليات الانتاجية مثل التكوين التفجيري للفلزات . وتستخدم كذلك كأدوات معملية مفيدة في عصر الفضاء مثل أنابيب الصدمة. كما تستخدم تفجيرات عالية التخصص كمصدر للقوى للسيارات والطائرات والصواريخ ، بالاضافة الى تطبيقات كثيرة أخرى .

وبعد سنوات قليلة فقط من أول تفجير لسلاح نووي في ١٩٤٤ أثار عالم الرياضة الشهير جون فون نيومان وغيره السؤال عن امكان استخدام. لأغراض سلمية ، وفي عام ١٩٥٧ وضعت الولايات المتحدة « برنامج بلاوشير » الخاص بها وفي نفس الفترة وضع الاتحاد السوفييتي برنامجه « التفجيرات النووية للاقتصاد القومي » . وقد استهدف كلا البرنامجين اجراء سلسلة من التجارب على التفجيرات النووية ، بنوعيها المحتواة والتفويهية ، في أوساط مختلفة بهدف فهم ظاهرة (فينومينولوجيا) التفجيرات النووية وجوانبها الاشعاعية والصحية والأمانية والبيئية وتطوير التكنولوجيا لمجموعة متنوعة من التطبيقات السلمية المحتملة مع تركيز خاص على التأكد من جوانب الصحة والأمان والصلاحية الاقتصادية عامة . وقد وضعت فرنسا بعد ذلك برنامجاً مفصلاً لسلسلة من التجارب في مسيف (تكتل مركزي) جرانيتي بالصحراء الكبرى بهدف تقديم مجموعة فريدة من المعلومات عن التفجيرات في وسط شديد وجاف ومتجانس جداً .

ومع التقدم في تنفيذ هذه البرامج الثلاثة، قام عدد من البلدان الأخرى المتقدمة والنامية باجراء دراسات هامة لبحث امكان استخدام التفجيرات النووية السلمية (ت ن س) في بعض التطبيقات السلمية المحتملة لخدمة اقتصادها القومي.

ولقد ظهر التبادل الدولي للخبرة والمعلومات في هذا المجال في كمية هائلة من البحوث والدراسات المنشورة. وفي ذلك أصدرت الوكالة الدولية للطاقة الذرية (و د ط ذ) سلسلة ببليوجرافية عن الاستخدامات السلمية للتفجيرات النووية تغطي ١٧٥٩ مرجعاً (٢) وذلك في عام ١٩٧٠. وفوق ذلك نشرت ود ط ذ أعمال ثلاثة اجتماعات (بانيل) (٣، ٤، ٥) واجتماع لجنة فنية (٦) حيث أبرزت الخبرة المكتسبة حتى آنذاك وتبودلت المعلومات الاضافية الجديدة المكتسبة بين ١٩٧٠ و١٩٧٥. وبالاضافة الى ذلك ظهرت معلومات كثيرة كذلك في دوريات علمية دولية ووطنية مختلفة. وتتوفر كذلك وثائق بعروض شاملة(٧، ٨، ٩، ١٠). وبذلك تغطي مجال التفجيرات النووية السلمية (ت ن س) اليوم في جوانبه المختلفة آلاف البحوث المنشورة وغير المحظورة بالرغم من أن النشاط فيه قد بدأ منذ ٢٢ عاماً فقط.

وقد حظت الظاهرية والصحة والأمان وتطوير القدرة التنبؤية في مجال ت ن س باهتمام كبير. وكذلك جرى جهد فائق في البحث والتطوير (ب، ت) ودراسات نشطة للتصورات والصلاحية بهدف اعداد الأرضية لتطبيقات مستقبلية ممكنة في الخطوط التي قد تثبت جدواها التكنولوجية وفي الاعتبار الأول جدواها من نواحي الصحة والأمان والاقتصاديات.

وفي هذا التقرير فاننا سنتبع التبويب التالي (٩) في تحليل تطبيقات ت ن س الممكنة المختلفة:

أولاً - التطبيقات المحتواة: تحفيز (زيادة انتاج) الغاز، تحفيز الزيت، سد آبار الغاز والزيت الشاردة، تخزين الايدروكربون السائل، تخزين

الغاز ، التخلص من المخلفات المشعة ، انتاج الزيت من الطفل ، واذابة خام النحاس وبعد ذلك نتناول بصورة أكثر عمومية تطبيقات محتواة أخرى.

ثانياً ـ تطبيقات الحفر : انشاء القنوات ، اقامة خزانات المياه ، وانشاء الموانىء ثم نتناول بطريقة أكثر عمومية تطبيقات حفر أخرى.

ثالثاً ـ التطبيقات العلمية : وفي موازاة هذا الجهد العلمي والتكنولوجي فقد أقيم نظام قانوني دولي جديد وأبرمت سلسلة من المعاهدات مشكلة الاطار السياسي والقانوني للنشاط في مجال ت ن س. وبالتالي فان إدراك هذا التطور ضروري لفهم ما يحدث في المجال العلمي والتكنولوجي ولتقييم التوقعات بالنسبة لتطبيقات ت ن س في المستقبل.

وهذا التقرير هو استعراض للاتجاهات الرئيسية في مجال ت ن س كما تظهر في المراجع المنشورة. وقد أعطيت تفاصيل أكثر عن التجارب التي تتوفر المعلومات عنها بالانجليزية أو الفرنسية وهما لغتان معروفتان جيداً للمؤلف ولكن مع الأسف فان المعلومات المنشورة بلغات أخرى لا يعرفها المؤلف وخاصة اللغة الروسية فقد تم استعراضها بالقدر الذي تتوفر به بالانجليزية أو الفرنسية. ودون أي محاولة للاقلال من هذا العائق فان المعلومات من المصادر المختلفة في مجال العلم والتكنولوجيا من حسن الحظ مترابطة ومتكاملة أكثر منها متعارضة. فالاتجاهات الرئيسية متماثلة والفروق انما تكون في طريقة المعالجة أو في التفاصيل.

ومن ناحية أخرى فانه لأسباب عملية ونظراً لضخامة كمية المراجع المتوفرة فقد ذكر المؤلف في هذا التقرير المراجع الرئيسية فقط ذات الصلة الوثيقة بموضوع التقرير. وللحصول على المراجع الداخلة في تلك المذكورة في التقرير فاننا ننصح القارىء بالرجوع الى المراجع الأصلية.

وحيث ان الآفاق المفتوحة للتطور في مجال ت ن س وكذلك القيود المفروضة عليه يحكمها الاطار القانوني الدولي لذلك يرى المؤلف أنه من المنطقي أن نبدأ هذا التقرير بالأوجه القانونية الدولية والتزامات المعاهدات .

الفصل الثاني

الأوجه القانونية الدولية والتزامات المعاهدات

بالقدر الذي لقيت التفجيرات النووية لكل من الأغراض العسكرية والسلمية جهداً علمياً وتكنولوجياً مكثفاً ومستمراً فانها قد أثارت كذلك مشاكل ضخمة سياسية وقانونية واجتماعية وصحية وأمانية وبيئية واستراتيجية . وأصبح نزع السلاح النووي هدف الانسانية ذا الأهمية العظمى والغامرة . ويخرج الجهد في هذا المجال عن أهداف هذا التقرير الا بقدر ما له من آثار على ت ن س . وعلى أي حال فقد أثارت ت ن س ذاتها مشاكل هامة مثل الأمان الشخصي والعام وامكانية الانحراف للأغراض العسكرية . وبالتالي فانه في موازاة التطورات التكنولوجية فقد أقيم اطار قانوني دولي شامل وأصبح عدد من المعاهدات الدولية الهامة نافذة المفعول لتأكيد الأمان وللضمان ضد الانحراف . وقد عولج هذا الموضوع بالتفصيل في تقرير المجموعة الاستشارية المخصصة (٩) للوكالة الدولية للطاقة الذرية عن التفجيرات النووية للأغراض السلمية وفي وثائق أخرى كثيرة . وسوف نناقش في هذا التقرير المعاهدات الرئيسية ثم نقدم اشارة الى المعاهدات والقرارات الأخرى وثيقة الصلة بالموضوع .

أولاً ـ معاهدة حظر اختبارات الأسلحة النووية في الجو وفي الفضاء الخارجي وتحت الماء لعام ١٩٦٣ (م ح ج أ) :

وتقضي هذه المعاهدة بأن جميع التفجيرات النووية (أ) يلزم أن تجري

تحت الأرض ، و(ب) يجب ألا تؤدي الى وجود أنقاض مشعة خارج النطاقات الاقليمية للدول التي يجري مثل هذا التفجير تحت سلطانها الفضائي أو سيطرتها . وتنص المادة الأولى على ما يلي :

« (١) يتعهد كل من أطراف المعاهدة بأن يحظر ويمنع وألا يقوم بأي تفجير لاختبار سلاح نووي أو أي تفجير نووي آخر في أي مكان تحت سلطانه القضائي أو سيطرته » .

أ - في الجو ، أو خارج نطاقاته متضمناً الفضاء الخارجي ، أو تحت الماء متضمناً المياه الاقليمية أو أعالي البحار ، أو

ب - في أي بيئة أخرى اذا كان مثل هذا التفجير يؤدي الى وجود أنقاض مشعة خارج النطاقات الاقليمية للدولة التي يجري مثل هذا التفجير تحت سلطانها القضائي أو سيطرتها . ومن المفهوم في هذا الخصوص أن شروط هذا التحت - براجراف ليس فيها حكم مسبق ضد ابرام معاهدة تؤدي الى الحظر الدائم لكل تفجيرات الاختبار النووي متضمناً كل امثال هذه التفجيرات تحت الأرض والتي يعتبر ابرامها هدفاً تسعى الاطراف لتحقيقه وفقاً لما قرروه في مقدمة هذه المعاهدة .

« (٢) يتعهد كل من أطراف المعاهدة بأن يمتنع عن احداث أو تشجيع أو الاشتراك بأي صورة في أي تفجير لاختبار سلاح نووي أو أي تفجير نووي آخر أينما يكون قد يجري في أي من الاوساط المذكورة أو يكون له التأثير المشار اليه في براجراف ١ من هذه المادة » .

وفي رأي المجموعة الاستشارية المختصة (٩) وفي رأينا كذلك فان هذا الشرط لا يفسر على أنه تحريم على أي دولة لأن تجري تفجيراً نووياً لأغراض سلمية خارج أي مكان تحت سلطانها القانوني أو سيطرتها طالما أن الظروف

المنصوص عليها في الشرط السابق وشروط أي اتفاقيات أخرى وثيقة الصلة بالموضوع مثل تلك التي تحتويها المادتان الأولى والثانية من معاهدة منع الانتشار تظل محترمة.

ثانياً - معاهدة بين الولايات المتحدة الامريكية واتحاد الجمهوريات الاشتراكية السوفييتية عن التفجيرات النووية تحت الأرض للأغراض السلمية، ١٩٧٦ :

تنص المادة ثلاثة ٢ ، ثلاثة ٣ من هذه المعاهدة على :

« (٢) يتعهد كل طرف أن يحظر ويمنع وألا يجري في أي مكان تحت سلطانه القانوني أو سيطرته ، ويتعهد كذلك ألا يجري أو يشترك أو يساعد في أن يجري في أي مكان :

أ - أي تفجير منفرد ذا حصيلة تزيد على ١٥٠ كيلوطن.

ب - أي تفجير مجموعة :

١ - له حصيلة اجمالية تزيد على ١٥٠ كيلوطن الا بطرق تسمح بالتحقق من كل تفجير منفرد وتقدير حصيلة كل تفجير منفرد في المجموعة وفقاً لشروط المادة الرابعة وبروتوكول هذه المعاهدة.

٢ - له حصيلة تزيد على واحد ونصف ميجاطن.

جـ - أي تفجير لا يجرى لتطبيق سلمي.

د - أي تفجير الا اذا كان متمشياً مع شروط معاهدة حظر اختبارات الاسلحة النووية في الجو وفي الفضاء الخارجي وتحت الماء ومعاهدة منع انتشار الاسلحة النووية والاتفاقيات الدولية الأخرى التي ينضم لها هذا الطرف.

« (٣) مسألة اجراء أي تفجير منفرد له حصيلة تزيد على تلك المحددة في براجراف ٢ (أ) من هذه المادة سينظر فيها بواسطة الاطراف في وقت ملائم يتفق عليه ».

وهذه المعاهدة تطبق على كافة التفجيرات النووية تحت الأرض للأغراض السلمية داخل أراضي الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي أو خارج هذه الأراضي.

ثالثاً - معاهدة منع انتشار الأسلحة النووية لعام ١٩٦٨ (م م أ):

تتضمن هذه المعاهدة التي تستهدف منع انتشار الاسلحة النووية تعهداً من الدول المالكة للأسلحة النووية الاطراف في المعاهدة بتقديم خدمة التفجير النووي للأغراض السلمية الى الدول غير المالكة للأسلحة النووية الاطراف في المعاهدة.

وتنص المادة الاولى من م م أ على ما يلي:

« تتعهد كل دولة مالكة للأسلحة النووية طرف في المعاهدة بألا تنقل لأي متلق مهما كان أسلحة نووية أو أدوات متفجرة نووية أخرى أو التحكم في هذه الأسلحة أو الأدوات المتفجرة بطريق مباشر او غير مباشر؛ وألا تساعد أو تشجع أو تستحث بأي شكل من الأشكال أية دولة غير مالكة للأسلحة النووية على صنع او بطريقة أخرى حيازة أسلحة نووية أو أدوات متفجرة نووية أخرى أو التحكم في مثل هذه الأسلحة أو الأدوات المتفجرة ».

وتنص المادة الثانية:

« تتعهد كل دولة غير مالكة للأسلحة النووية طرف في المعاهدة بألا تتلقى النقل من أي ناقل أياً كان لأسلحة نووية أو لأدوات متفجرة نووية أخرى أو للتحكم في مثل هذه الأسلحة أو الأدوات المتفجرة بطريق مباشر أو غير

مباشر ؛ وألا تصنع أو بطريقة أخرى تحوز على أسلحة نووية أو أدوات متفجرة نووية أخرى ، وألا تسعى أو تتلقى أية معونة في صنع أسلحة نووية أو أدوات متفجرة نووية أخرى ».

وعلى هذا فان انتاج أو حيازة أو التحكم في الأسلحة النووية أو المتفجرات النووية للأغراض السلمية في ظل م م أ مسموح به للدول المالكة للأسلحة النووية (الدول الخمس الكبرى) ومحظور على الدول غير المالكة للأسلحة النووية وهي جميع الدول الأخرى.

وقد روعيت مصالح الدول غير المالكة للأسلحة النووية في المادتين الرابعة والخامسة.

فتنص المادة الرابعة على ما يلي :

« ١ - ليس في هذه المعاهدة أي شيء يمكن تأويله على أنه يؤثر في الحق الثابت لكل أطراف المعاهدة في أن تطور البحث والانتاج والاستخدام للطاقة النووية للأغراض السلمية دون تمييز ووفق أحكام المادتين الأولى والثانية من هذه المعاهدة.

٢ - يتعهد كل أطراف المعاهدة بأن يسهلوا ولهم الحق في أن يساهموا لأقصى حد ممكن في تبادل الأجهزة والمواد والمعلومات العلمية والتكنولوجية للاستخدامات السلمية للطاقة النووية. وستتعاون كذلك أطراف المعاهدة القادرة على ذلك سواء بمفردها أو مع دول أخرى أو هيئات دولية في الاسهام في مزيد من تطوير تطبيقات الطاقة النووية للأغراض السلمية وخاصة في أراضي الدول غير المالكة للأسلحة النووية الاطراف في المعاهدة مع اعطاء الاعتبار الكافي لاحتياجات المناطق النامية من العالم ».

وفي ضوء هذه المادة فان تبادل المعلومات العلمية والتكنولوجية في مجال

ت ن س مسموح به بين الدول المالكة وغير المالكة للأسلحة النووية طالما احترمت المادتان الأولى والثانية من المعاهدة.

وفوق ذلك تنص المادة الخامسة:

« يتعهد كل طرف بالمعاهدة بأن يتخذ التدبيرات للتأكد من أنه، وفقاً لهذه المعاهدة وتحت مراقبة دولية مناسبة ومن خلال اجراءات دولية ملائمة، سيجري توفير المنافع المحتملة لأي تطبيقات سلمية للتفجيرات النووية للدول غير المالكة للأسلحة النووية الأطراف بالمعاهدة على أساس عدم التمييز وسيكون الثمن المطلوب من مثل هذه الأطراف للأدوات المتفجرة المستخدمة أدنى ما يمكن و سيستبعد منه أي نفقات للبحث والتطوير. وسيكون في امكان الدول غير المالكة للأسلحة النووية الأطراف في المعاهدة الحصول على مثل هذه المنافع طبقاً لمعاهدة أو معاهدات دولية خاصة من خلال هيئة دولية مناسبة يكون بها تمثيل ملائم للدول غير المالكة للأسلحة النووية. وستبدأ المفاوضات حول هذا الموضوع بأسرع ما يمكن بعد أن تصبح المعاهدة سارية المفعول. كما تستطيع الدول غير المالكة للأسلحة النووية أطراف المعاهدة أن تحصل على مثل هذه المنافع طبقاً لمعاهدات ثنائية اذا رغبت في ذلك ».

وفي ضوء هذه المادة فقد ثار جدل عما اذا كانت الدول غير المالكة للأسلحة النووية وغير الأطراف في المعاهدة يمكن أن تنتفع من شروط هذه المادة. وعلى أي حال فقد بت في هذا الموضوع في البيان الختامي لمؤتمر المراجعة الأول لأطراف معاهدة منع انتشار الأسلحة النووية في ١٩٧٥ الذي جاء فيه أن:

« أي نفع محتمل يجوز توفيره للدول غير المالكة للأسلحة النووية غير الأطراف بالمعاهدة في شكل خدمات التفجير النووي التي تقدمها الدول المالكة للأسلحة النووية كما تحددها المعاهدة والتي تجري تحت المراقبة الدولية المناسبة

والاجراءات الدولية الملائمة التي تتطلبها المادة الخامسة وطبقاً للالتزامات الدولية النافذة الأخرى. ويعتبر المؤتمر إلزامياً ألا يؤدي الحصول على المنافع المحتملة للتفجيرات النووية للأغراض السلمية الى أي انتشار لمقدرة تفجيرية نووية ».

وفوق ذلك حل المؤتمر مسألة الهيئة الدولية المناسبة المذكورة في المادة الخامسة بالنص على ما يلي:

« يعتبر المؤتمر أن الوكالة الدولية للطاقة الذرية هي الهيئة الدولية المناسبة المشار اليها في المادة الخامسة من المعاهدة والتي من خلالها يمكن توفير المنافع المحتملة من التفجيرات النووية للأغراض السلمية للدول غير المالكة للأسلحة النووية ».

وبالنسبة للمراقبة الدولية المناسبة أو الاجراءات الدولية الملائمة التي تتطلبها المادة الخامسة فإن م م أ لا تحوي شروطاً محددة في هذا الشأن. وعلى كل حال فإن و د ط ذ قد أصدرت وثيقتين عن هذا الموضوع.

أ ـ خطوط ارشاد للمراقبة الدولية بواسطة الوكالة (INFCIRC / ١٦٩).

ب ـ اجراءات لتستخدمها الوكالة في الاستجابة لطلبات الخدمات المتصلة بالتفجيرات النووية للأغراض السلمية (GOV/ ١٦٩١).

وخطوط ارشاد المراقبة الدولية ستطبق على كل الخدمات المتصلة بالتفجيرات النووية المقدمة تحت المادة الخامسة من م م أ للدول غير المالكة للأسلحة النووية بصرف النظر عن نوع المعاهدة التي يتم تحتها تقديم خدمة التفجير. وتصبح خطوط الارشاد هذه نافذة فقط بعد أن تكون الوكالة قد دخلت في معاهدة مع دولة لتقديم مراقبة لمشروع ت ن س.

أما الاجراءات التي طورت حتى اليوم فقد صممت لتغطي فقط خدمات مشروع ت ن س من خلال الوكالة وبصفة خاصة الطلبات التي تقدم للوكالة لمثل

هذه الخدمات وكذلك الاستجابة الممكنة للوكالة وأفعالها . وهي أيضاً محصورة في مراحل معينة مثل: مراجعة أولية ودراسة قبل الجدوى ودراسة الجدوى. ولا تغطي الاجراءات بشكل محدد خدمات مشروع ت ن س تحت المادة الخامسة م م أ التي لا ترتبط بها الوكالة وخاصة كل أنشطة الدول الموردة المالكة للأسلحة النووية . ولا زال من المطلوب وضع الاجراءات الدولية المناسبة لمثل هذه الأنشطة.

رابعاً ـ معاهدات وقرارات دولية أخرى:

المعاهدات الأخرى الوثيقة الصلة بمجال ت ن س هي ما يلي:

١ ـ معاهدة حظر الأسلحة النووية في أمريكا اللاتينية لعام ١٩٦٧ (معاهدة تلا تيلولكو).

٢ ـ معاهدة الانتراكتيكا لعام ١٩٥٩ .

٣ ـ ميثاق جنيف عن أعالي البحار لعام ١٩٥٨ .

٤ ـ معاهدة عن المبادىء التي تحكم أنشطة الدول في كشف واستخدام الفضاء الخارجي بما في ذلك القمر والأجرام السماوية الأخرى لعام ١٩٦٧ .

٥ ـ معاهدة لحظر وضع الأسلحة النووية وأسلحة الدمار الشامل الأخرى فوق قاع البحر وأرض المحيط وتحت سطح تربتها، ١٩٧١ .

٦ ـ ميثاق لندن عن حظر التلوث البحري باغراق المخلفات ومواد أخرى، ١٩٧٢ .

٧ ـ معاهدة بين الولايات المتحدة الامريكية واتحاد الجمهوريات الاشتراكية السوفييتية عن تقييد اختبارات الأسلحة النووية تحت الأرض، ١٩٧٤ .

ومن ناحية أخرى فان القرارات التالية التي اتخذتها الجمعية العامة للأمم المتحدة ذات صلة وثيقة بالموضوع:

(١) القرار ٨٢/٣٢ (١٩٧٧): انشاء منطقة خالية من السلاح النووي في الشرق الأوسط.

(٢) القرار ٨٣/٣٢ (١٩٧٧): انشاء منطقة خالية من السلاح النووي في جنوب آسيا.

(٣) القرار ٨٧/٣٢ (١٩٧٧): نزع السلاح العام والشامل.

خامساً ـ الحاجة لمزيد من الترتيبات والاتفاقيات الدولية:

لقد أنشأت الوكالة وحدة ت ن س كما وضعت الاجراءات المشار اليها سالفاً (الوثيقة GOV/١٦٩١) لتطبيقها في الاستجابة للطلبات. وتنظر و د ط ذ حاليا في أن تنشىء، حين تتطلب الحاجة ذلك، جهاز خدمة دولياً للتفجيرات النووية للأغراض السلمية وأن تمد دور الوكالة في الترتيبات الخاصة بالامداد بخدمات مشروعات ت ن س ليشمل كذلك المراحل الاخيرة مثل تحديد المشروع وتنفيذ المشروع والتقييم اللاحق للمشروع وأطوار انهاء المشروع وذلك بالنسبة للمشروعات التي تجري تحت رقابة و د ط ذ واجراءاتها. ولانشاء مثل هذا الجهاز سيكون من المطلوب تطوير نظام قانوني دولي غطائي للتفجيرات النووية السلمية (٩).

ويقترح تقرير المجموعة الاستشارية المختصة (٩) عن ت ن س على و د ط ذ النظر في مجموعة من المبادىء والمسائل لبحثها في صياغة الترتيبات الدولية وفق م م أ ومع الأخذ في الاعتبار البيان النهائي لمؤتمر مراجعة م م أ لعام ١٩٧٥ وكذلك المستندات والوثائق الدولية الاخرى وثيقة الصلة بالموضوع، وذلك بالنسبة للتزويد بالتفجيرات النووية للأغراض السلمية.

ويقترح التقرير بدائل لمستندات قانونية داخل نفس الاطار القانوني الدولي لتقديم ت ن س. وتتضمن هذه البدائل صياغة:

١ ـ اتفاقية دولية متعددة الأطراف (اتفاقية «مظلة») تنشىء مبادىء

واجراءات ملزمة ومرفق بها اتفاقية مشروع نموذجية ومع توقع اتفاقيات منفصلة للمشروعات .

٢ ـ وضع مبادىء عامة داخل الوكالة تحكم الاتفاقيات الخاصة بخدمات مشروعات ت ن س وتغطي على الأقل جميع المبادىء والمسائل المثارة أعلاه بالنسبة لصياغة الترتيبات الدولية .

٣ ـ اتفاقيات ثنائية رئيسية بين الوكالة والدول المالكة للأسلحة النووية أو الدول الاستشارية منفردة واتفاقيات منفصلة للمشروعات مع أخذ خطوط إرشاد الوكالة المطورة في الاعتبار .

٤ ـ مذكرة تفاهم يمكن أن تعتبر اطاراً رسمياً مبنياً على أساس المبادىء والمسائل المشار اليها أعلاه والتي ستعمل على أساس حسن النية وتفترض خلق حقوق وواجبات ملزمة من خلال اتفاقيات منفردة .

وقد تستكمل هذه المذكرة بقواعد للممارسة يتم تطويرها بواسطة الوكالة .

٥ ـ أشكال أخرى ممكنة ومختلفة من البدائل السابق ذكرها .

الفصل الثالث

ظاهرية التفجيرات النووية

لقد أجرت كل من الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي وفرنسا عدداً كبيراً من التفجيرات النووية للأغراض السلمية خلال العقدين الأخيرين . وكمثال على هذا الجهد الفائق قدم ر . هامبورجر (١١) معلومات عن تسلسل بلاوشير بما في ذلك الأعمال الادارية الهامة وكذلك التجارب المحتواه وتجارب الحفر باستخدام المتفجرات النووية والكيميائية العالية حتى عام ١٩٧٠ . وفي اطار م ح ج أ فانه يسمح فقط بالتفجيرات النووية تحت الأرض وهي من نوعين رئيسيين : التفجيرات المحتواة والتفجيرات التفوهية . ففي التفجيرات المحتواة التي تحدث على أعماق كبيرة فان الانفجار وآثاره المباشرة تحتوى احتواءً كاملاً تحت الأرض . أما في تفجيرات الحفر والتي يكون فيها عمق دفن المتفجر أقل كثيراً فان عمليات التفجير تؤثر في سطح الأرض وفي الجو وتؤدي الى تكوين فوهات . ويعالج حجم كبير من المعلومات المقدمة من الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي وفرنسا ظاهرية (فينومينولوجيا) التفجيرات النووية في كل من الاحداث المحتواة والتفوهية . والقسم التالي معالجة للظاهرية في الحالتين (١٠ ، ١٢) .

أولاً ـ ظاهرية التفجيرات المحتواة :

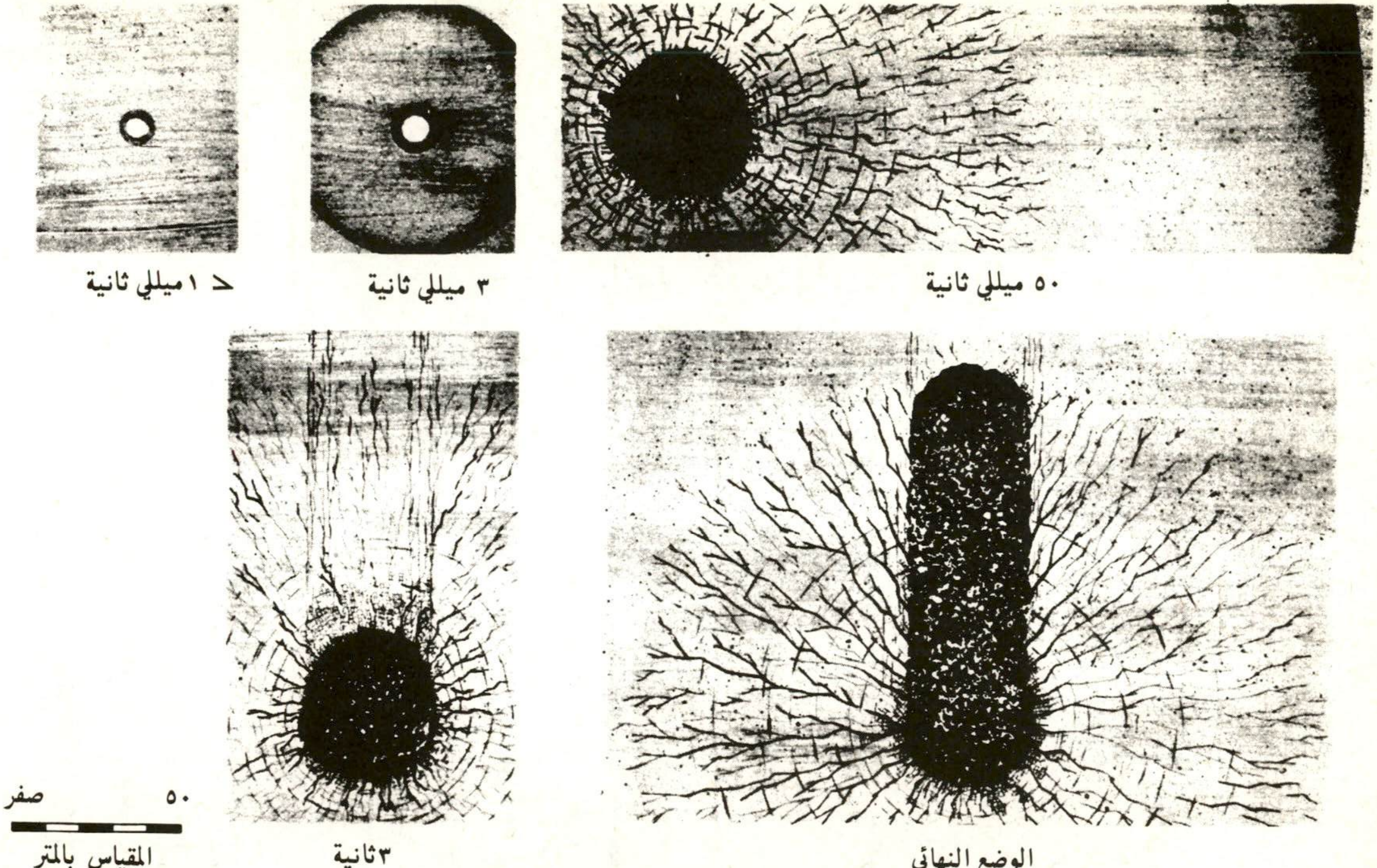
لقد قامت الولايات المتحدة حتى اليوم بحوالي ٣٠٠ تفجير نووي تحت الأرض في أوساط مختلفة من بينها الغرين (اللوفيوم) والتوف والجرانيت

والملح . وأجرى الاتحاد السوفييتي تجاربه كذلك في أوساط مختلفة . وقد أطلقت فرنسا حوالي ٢٠ تفجيراً نووياً في مسيف جرانيتي متجانس .

وقد تعرضت البيانات التجريبية المتراكمة لتحليل شامل وتطور فهم عمليات التفجير . وفيما يلي عرض مختصر لهذا الفهم كما طور من خلال استخدام نماذج تجريبية وحسابية لعمليات التفجير وقدمه م .د . نورديك (١٠) .

عندما يفجر متفجر نووي تحت الأرض فان النتيجة الأولى هي اطلاق كل طاقته وعدد هائل من النيوترونات في أقل من ميكروثانية واحدة الى الاطنان القليلة من المادة التي تحتوي على المتفجر والصخر المحيط بها . وتتحول النيوترونات الى نيوترونات حرارية وتقتنص في المادة مكونة مجموعة مختلفة من النويدات بعضها مستقرة وبعضها مشعة وذات أعمار نصفية تتراوح بين ثوان وآلاف السنين . ويؤدي ايداع مثل هذه الكمية الضخمة من الطاقة في مثل هذا الوقت القصير الى كتلة كروية من المادة ذات درجة حرارة تزيد على عشرة مليون درجة مطلقة وتبلغ ضغوطها عدة ملايين ضغط جوي . وعند درجات الحرارة هذه وتلك الضغوط فان كل المواد تتصرف مثل الغاز أو المائع .

وفي استجابة لهذه الضغوط تبدأ الفجوة الممتلئة بالصخر الغازي في التمدد بسرعة ضد الوسط المحيط ، منشئة لموجة صدمة كروية تتجه نحو الخارج . ويوضح الشكل (١) الخطوات المختلفة في عملية التفجير في تفجير افتراضي ٥ كيلوطن في الجرانيت . ففي البداية تكون موجة الصدمة هذه حادة بالقدر الكافي لتبخير صخر اضافي واضافة كتلته وحجمه للفجوة . وكلما استمرت موجة الصدمة في التمدد قلت حدتها ؛ وعندما لا تصبح من القوة الكافية لتبخير الصخر تنفصل موجة الصدمة بعيداً عن الفجوة وتنطلق داخل الصخر (أنظر حـ١ ميللي ثانية في الشكل ١) . وبينما تكون موجة الصدمة لا تزال



شكل (١) تاريخ تكوين الفجوة ـ المدخنة لتفجير
٥ ك ط في الجرانيت (١٠)

قريبة من الفجوة فانها تحطم الصخر حيث تجهده فوق حد مقدرته الانضغاطية . واذ تستمر موجة الصدمة وراء ذلك فانها تستمر في احداث شروخ في الصخر ولكن بدرجة اقل الى أن يتم الوصول الى حد التشريخ والذي بعده يتصرف الوسط بمرونة في الاستجابة لموجة الضغط . ويشار الى هذه الخطوات في ٣ ميللي ثانية و٥٠ ميللي ثانية في الشكل (١) .

وفي نفس الوقت فان الفجوة تستمر في التمدد كروياً الى أن يتحقق التوازن بين ضغط الصخور المتبخرة والماء داخل الفجوة وبين حقل الاجهاد في الصخر . وفي بعض الحالات هناك ما يدل على أن الفجوة قد تتمدد مؤقتاً الى ما بعد التوازن ثم ترتد بعد ذلك الى حجمها النهائي . وقد تصمد الفجوة المكونة هكذا لفترة من الزمن تتراوح بين ثوان وساعات أو أيام ويتوقف ذلك على نوع الصخر وعمق الدفن وحصيلة الانفجار . واذا حدث انهيار فانه عند ذلك يتقدم عامة الى أعلى بقطر يماثل تقريباً قطر الفجوة الى أن يصل الى حد منطقة الشروخ كما هو واضح في الشكل (١) وبذلك يعاد توزيع الحجم الأصلي للفجوة كحجم بين الأجزاء في داخل الدبش المحطم الذي يملأ الفجوة أو في الفراغ العلوي عند قمة منطقة الصخر المحطم . وفي بعض المواد قد يزداد حجم المادة المنهارة بشكل كبير نتيجة للانهيار حتى أنها تستنفذ كل حجم الفجوة الناشيء وتوقف الانهيار قبل أن يصل الى حد الشروخ . ولقد سُمّي هذا الحجم الاسطواني المليء بالدبش « بالمدخنة » . وهي ولو أنها رسمت في الشكل (١) على هيئة بنية متماثلة رأسية الا أن الخبرة قد أوضحت أنها يمكن أن تكون غير منتظمة تماماً وأن تتأثر بشدة بنظام التشريخ المتصدع للوسط .

ويمكن التنبؤ بحجم الفجوة الناشئة هكذا بشكل طيب جداً على أساس نموذج يفترض التمدد ثابت الحرارة للغازات الموجودة في الفجوة الى أن تصل الى حالة اتزان مع الضغط الحاجز للوسط . وهذا يؤدي الى معادلة من الشكل التالي :

$$نق_{ى} = ث_{١}\ ح^{١/٣} / (ض_{١})^{١/٣\ ٢}$$

حيث نق$_{ى}$ = نصف قطر الفجوة (م)، ح = الطاقة المنبعثة بالانفجار (ك ط)، ٢ = معامل التمدد ثابت الحرارة، ث$_{١}$ = ثابت مميز للبيئة المحيطة بالانفجار، وض = الضغط الحاجز للوسط المحيط بالانفجار (بار).

وقد قام هيجين وبيكوفتش(١٣) بحساب قيمة ٢ وث$_{١}$ من قياسات معملية وموضعية لخصائص الصخور. وباستخدام هذه القيم وبفرض أن ض$_{١}$ هي متوسط ضغط الحمل العلوي (أي ρ ج ع) فقد حسبا قيم لنصف قطر الفجوة (نق$_{ى}$) تتفق تماماً مع البيانات التجريبية الامريكية في أوساط أربعة مختلفة.

وعلى أساس البيانات التي حصل عليها من ١٣ تفجيراً في جرانيت جاف وقوي جداً اقترح ميشو أن يتضمن ض$_{١}$ قوة الوسط (أي ض$_{١}$ = ρ ج ع + ث$_{ق}$) حيث ع عمق الدفن وث$_{ق}$ تمثل قوة مسيف الصخر مستقلة عن ضغط الحمل العلوي. ويؤدي تحليله الى أن قيمة ث$_{١}$ ٥٢ وقيمة ث$_{ق}$ ٢٢٠.

وعلى ذلك تبين المعادلة المذكورة أن تأثير زيادة عمق دفن المتفجر هو انقاص حجم الفجوة وبالتالي حجم المدخنة التالية المليئة بالدبش. وعلى كل حال فانه بالنسبة للأوساط القوية جداً قد يصبح تأثير العمق هاماً عند أعماق كبيرة جداً فقط حيث يكون ضغط الحمل العلوي أكبر من قوة الصخر ذاته.

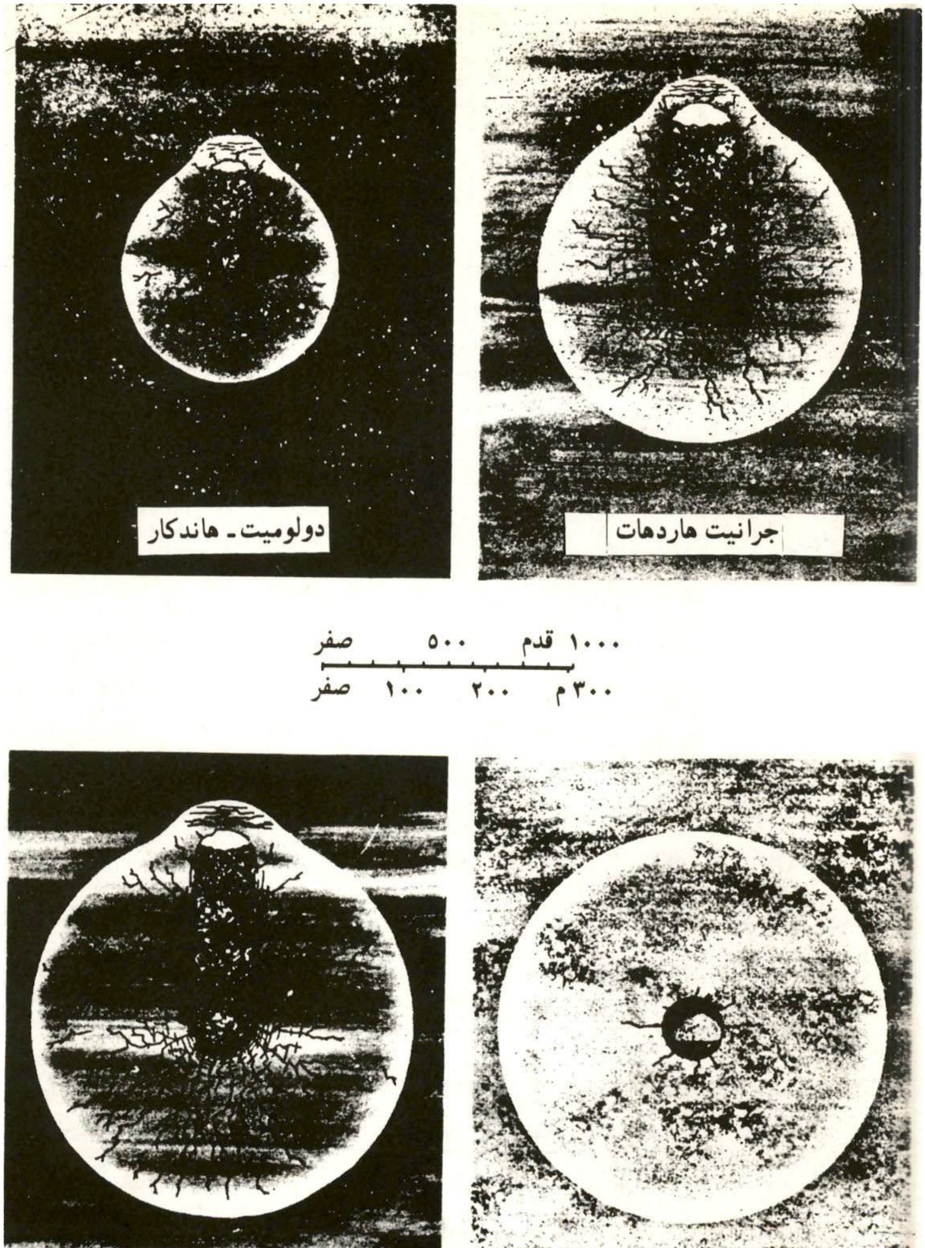
ومن آثار زيادة عمق الدفن كذلك انقاص حجم منطقة الشروخ نظراً لأن ضغط الحمل العلوي الحاجز يزيد من قوة الصخر. ومعروف عن بعض الصخور أنها تنمي خصائص الاخفاق في ليونتها عند الضغوط الحاجزة العالية التي يمكن أن تؤدي الى ازالة منطقة الشروخ أو «التحام» الشروخ وربما تمنع انهيار الفجوة.

وينبع تأثير الوسط على آثار التفجير من خصائص قوته الموضعية ومحتواه المائي وصفاته الديناميكية الحرارية أو الميكانيكية الصخرية. وتلعب القوة دوراً كبيراً في تحديد حجم منطقة الشروخ ودرجة التشريخ وارتفاع المداخن. واذا كان الصخر يتصف بالاخفاق في الليونة كحالة الملح فيمكن أن تنتج فجوة دائمة بدون انهيار أو بانهيار جزئي. والمحتوى المائي هام في تقدير كل من كمية الغاز غير المكثف في الفجوة أثناء مرحلة تمددها وقوة الصخر خارج الفجوة. وقد أوضح هيرد أن تأثير تشبع المسام يمكن أن يكون له أثر كبير على قوة الصخر حتى ولو كانت كمية المياه الفعلية قليلة جداً (حـ٢٪). وتعتبر الصفات الديناميكية الحرارية والميكانيكية الصخرية ذات أهمية كبيرة في تحديد توزيع الطاقة بين تبخير الوسط وانصهاره والشغل المبذول في تحطيم وتشريخ الوسط بواسطة موجة الصدمة.

ويبين الشكل (٢) مدى التأثيرات التي لوحظت في أربعة أوساط جيولوجية مختلفة بواسطة الولايات المتحدة وأعيد بناؤها من أعمال الكشف التالي للاطلاق والمحاكاة بالكمبيوتر.

وعلى ذلك فانه بالنسبة لتفجير ٣٠ ك ط يتراوح قطر الفجوة والمدخنة بين ٣٠ و٧٥م متوقفاً على عمق الانفجار وصفات الوسط، وبارتفاع للمدخنة يتراوح بين ١ و٣ أضعاف قطر الفجوة. ويحيط بالمدخنة منطقة شروخ كروية شبه نفاذة مركزها نقطة الانفجار وقطرها ٣ - ٦ أضعاف قطر الفجوة. وهذه البنية الجيولوجية الأساسية هي التي نحاول استخدامها في التطبيقات المحتواة.

ويتوفر في المراجع المنشورة تفاصيل اضافية وتحسينات بالنسبة للأوجه المختلفة وللتنبؤ بالعمليات المختلفة التي يتضمنها تفجير نووي محتوى، والتي يمكن أن نذكر عدداً من مراجعها (١٤ - ٢٥).

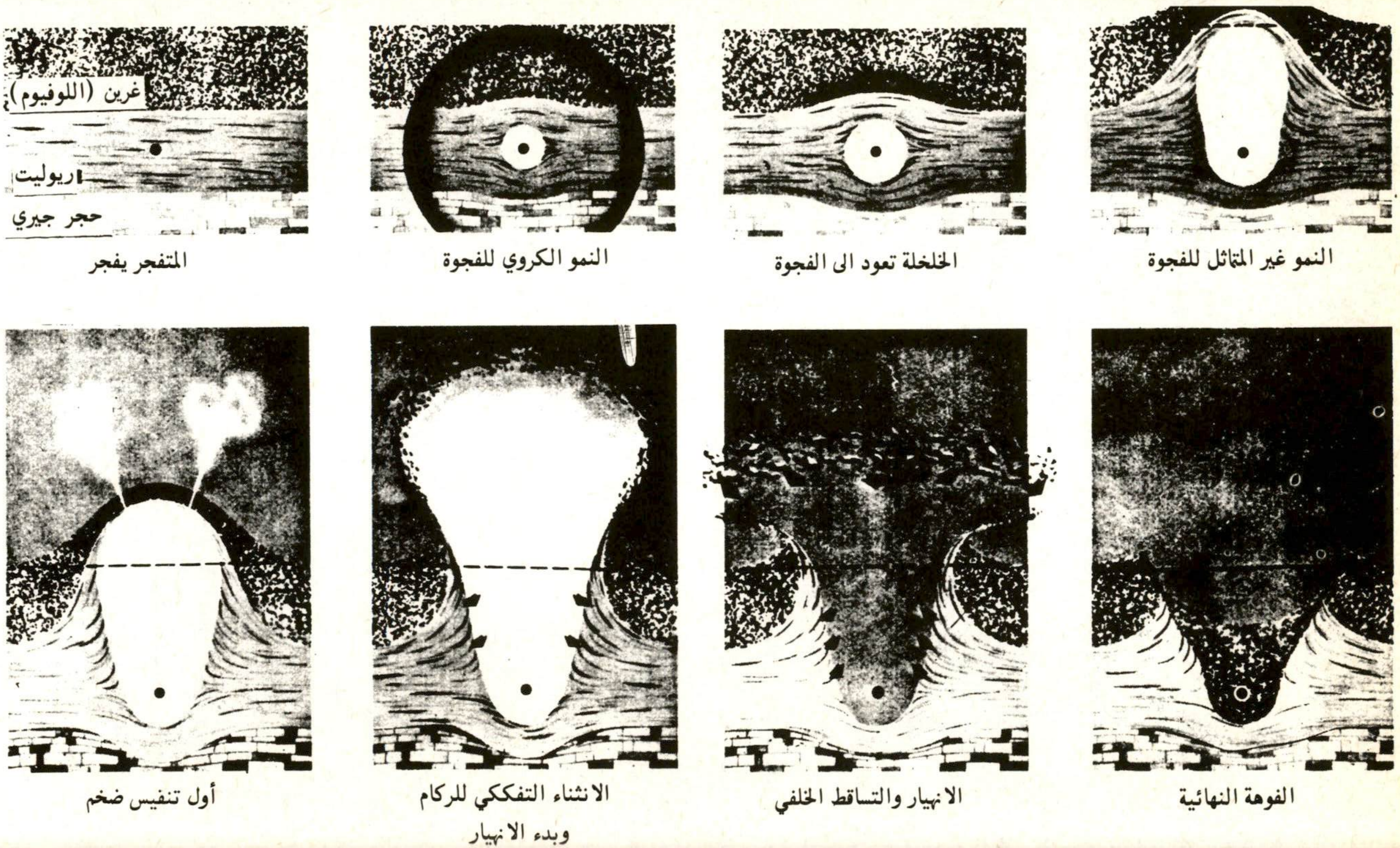


شكل (٢) تأثيرات الوسط الذي يجري فيه
التفجير، ٣٠ ك ط مدفونة في أوساط مختلفة،
دراسة بنموذج SOC (١٠)

ثانياً ـ ظاهرية التفجيرات التفويهية:

تتطلب التفجيرات النووية كتكنولوجيا حديثة لانشاء الموانىء والقنوات وخزانات المياه وأعمال الحفر الكبرى الأخرى درجة عالية من التأكد من أن حصيلة الانفجار وعمق دفن المتفجر ستحدث الشكل المطلوب في الوسط المعين في نطاق حد مقبول من الخطأ. ولذلك حظت ظاهرية التفويه باهتمام كبير تمثل في سلسلة من تجارب التفويه متضمنة مقدارا كبيراً من الأحداث التفويهية بالمتفجرات الكيميائية العالية (م ع) في كل من الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي. ولقد تقدم فهمنا لظاهرية التفويه تقدماً كبيراً نتيجة للاختبارات التجريبية والجهد النظري المرتبط بها كما جرى استعراض هذا الفهم في مراجع مختلفة (١ ، ٧ ، ٨ ، ١٠ ، ١٢).

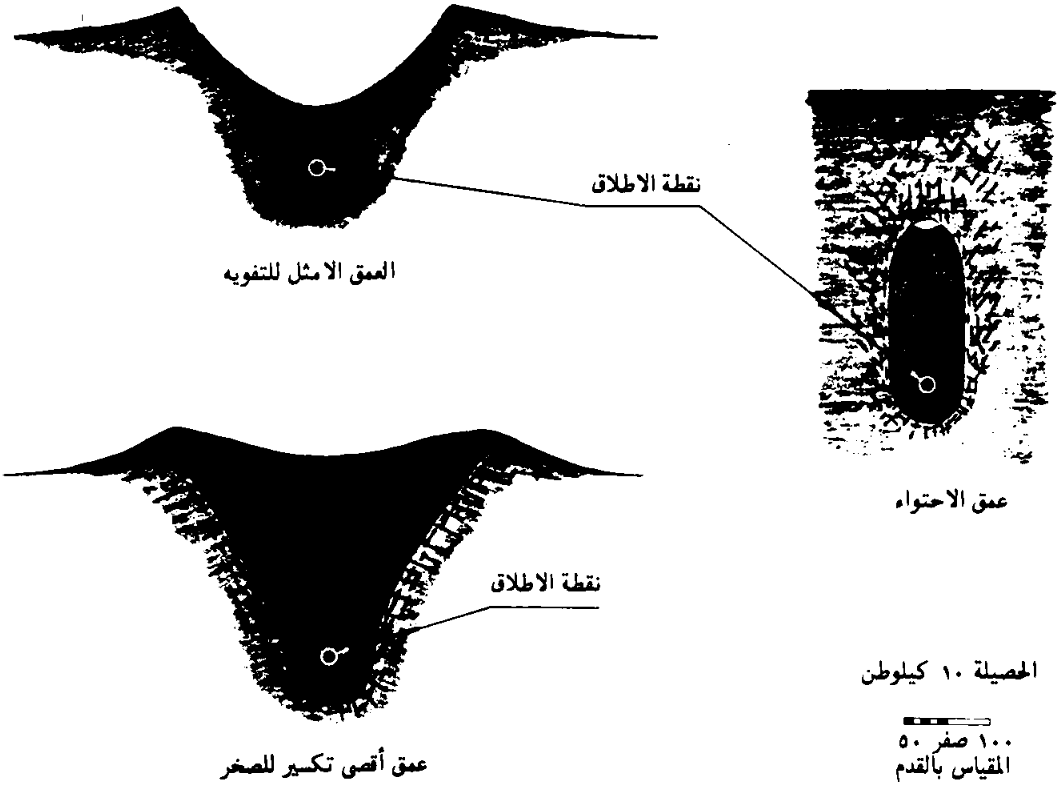
وقد أوضح ج. تومان وزملاؤه (١٢) في عرض مركز أن الفوهات ذات الحجم الأقصى تتكون عند عمق انفجار تتحد فيه ميكانيكيتان لتقذفا طبيعياً المواد فوق المتفجر. هاتان الميكانيكيتان هما الشظايا والتعجيل الغازي أو تمدد غازات الفجوة. ويوضح الشكل (٣) تصويرياً تاريخ تكوين الفوهة. فعند اطلاق المتفجر النووي فانه يخلق ضغوطاً ودرجات حرارة هائلة تبخر الصخر الى مسافة حوالي ٢ متر/ك ط$^{١/٣}$. وعند هذه النقطة تنفصل موجة ضغط كروية أو موجة صدمة من القذيفة وتنتشر خلال التكوين صاهرة فمحطمة فمشرخة الصخر بالتوالي في حركتها نحو السطح الخارجي كما أوضحنا من قبل. وحينما تصل الموجة الضاغطة الى السطح الخارجي تتولد موجة خلخلة وتنتشر عائدة نحو الفجوة. وتضع موجة الخلخلة الصخر في حالة شد بادئة من السطح الخارجي. وحيث ان الصخر ضعيف بالنسبة للشد فانه يتكسر ويطير الى أعلى بسرعة مرتبطة بقوة الدفع المنقولة له بواسطة الموجة الضاغطة المنبثقة. هذه الحركة الاولى هي ميكانيكية الشظايا. وأثناء حركة جبهة الصدمة نحو السطح الخارجي كانت الغازات المتبخرة داخل الفجوة تتمدد



شكل (٣) تاريخ تكوين الفوهة (١٢)

وتضخم الفجوة . وحينما تصل موجة الخلخلة الى الفجوة النامية كروياً تتخذ الفجوة الطريق الاقل مقاومة وتتمدد سريعاً في اتجاه السطح الخارجي . ويعود الصخر أعلى الفجوة فيتضام وتعطيه غازات الفجوة المتمددة سرعة اضافية . وهذه الزيادة في السرعة فوق السرعة الناتجة من عملية الشظايا يطلق عليها التعجيل الغازي . ويمكن قياس كلا الظاهرتين في التجارب التفويهية بالتصوير الفوتوغرافي عالي السرعة لسطح الأرض . فيأخذ سطح الأرض شكل قبة وبينما تستمر في النمو تنفتح شقوق تهرب من خلالها غازات الفجوة الى الهواء - أي يحدث تنفيس . وعندما يحدث تنفيس عام يتفكك الركام تماماً مع اعطاء قطع الصخر سرعة اضافية ووضعها في مسار قذفي . وتسمى المواد التي تهرب من الفوهة بالمقذوفات وتشكل قسماً من حافة الفوهة . وتتساقط المواد الأخرى في الفوهة الحقيقية لتكون الفوهة الظاهرية . ويرجع في أبعاد الفوهة الظاهرية الى صلتها بسطح الأرض الأصلي وتمثل هذه الأبعاد كمية الحفر المفيد الذي يحققه التفجير . وترتفع حافة الفوهة فوق سطح الأرض الأصلي وتتكون من أجزاء القشرة الأرضية المدفوعة الى أعلى أو من الصخر والمقذوفات المزاحة بصفة دائمة .

ويوضح الشكل (٤) تأثير زيادة عمق الانفجار على الظواهر التفجيرية . فلأي حصيلة تفجيرية وأي وسط يوجد عمق للانفجار أو مدى للأعماق تتكون عندها فوهة ذات حجم أقصى . وكلما زاد عمق الانفجار بعيداً عن هذا العمق الأمثل تصبح الفوهات أصغر الى أن يتكون ركام من الدبش بدلاً من الفوهة . ويسمى ركام الدبش هذا « ريتارك » (سنطلق عليه بالعربية « الركام ») . وتتحطم أقصى كمية من الصخر حينما يتكون ركام ، وهو مناسب بشكل مثالي للاستخدام كمصدر صخر لمجموعات كتل . وحينما يزيد عمق الانفجار الى مدى أبعد فان نتائج الانفجار تصبح محتواة . فيحدث التفجير فجوة ولكن لا يحدث تمزق عنيف للسطح الخارجي كما يحدث في طلقة التفويه . وينهار الصخر



شكل (٤) تأثيرات التفجيرات النووية
المدفونة في أعماق مختلفة (١٢)

المتشرخ والموجود فوق الفجوة الى داخل الفجوة مكوناً مدخنة. ويستمر الانهيار الى ذلك الحد من نصف قطر التشريخ الذي عنده يمكن أن يكون للصخر قوة كافية لتخطي القنطرة أو حتى يصبح حجم الفراغات داخل الصخر المتراكم بالمدخنة مساوياً لحجم الفجوة الأصلي. وفي الغرين (الأللوفيوم) وغيره من المواد التي يحدث لها زيادة صغيرة أو لا زيادة بالتراكم حين الانهيار يستمر تكوين المدخنة حتى السطح الخارجي وتتكون فوهة منهارة. وحينما لا يحدث تضخم يكون حجم الفوهة المنهارة مساوياً لحجم الفجوة الأصلي. وعند عمق أقل من العمق الأمثل للدفن في أي وسط معين يضيع عامة قدر كبير من طاقة الانفجار في الهواء دون القيام بعمل مفيد.

وللوسط الذي يجري فيه الانفجار تحت الأرض وللطبوبوغرافيا (١) أهمية في تحديد ما سينتج. وقد أجريت التجارب النووية تحت الأرض بدرجات

مختلفة في الأللوفيوم (رواسب من الرمل والحصى غير المتماسك) والتوف (الرماد البركاني الملتصق) والملح والبازلت والجرانيت والجرانديوريت (صخر شبيه بالجرانيت) والدولوميت (صخر كربوناتي) الخ. ويلزم تصحيح ومواءمة نتائج الاختبارات في وسط معين اذا استخدمت في التنبؤ بنتائج التفجير في وسط آخر. وتلعب الطوبوغرافيا كذلك دوراً هاماً حينما يستهدف المشروع مثلاً شق قناة ذات عمق وعرض منتظمين خلال منطقة ذات ارتفاعات مختلفة عن سطح البحر.

ومن أجل ان نستخدم المتفجرات النووية كأداة انشائية فلا بد لنا من معرفة أحجام الفوهات عند حصائل تفجيرات غير تلك التي تتوفر عنها بيانات تجريبية ويمكن تحقيق ذلك بتحديد قوانين القياس الملائمة (١ ، ١٢).

وقانون القياس (١) هو قاعدة رياضية تعبر عن العلاقة بين كميتين متغيرتين. ويبنى مثل هذا القانون على البيانات التي يحصل عليها بالملاحظة وكذلك على الاعتبارات النظرية ويأخذ عادة شكل معادلة يمكن استخدامها للتنبؤ بنتائج التجارب.

ويعتبر تطوير قوانين قياس يعتمد عليها هدفاً رئيسياً لأغراض التفويه. فقوانين القياس مطلوبة للتنبؤ بالتأثيرات التفويهية للتفجيرات النووية على مدى المائة كيلوطن ومدى الميجاطن من معلومات حصل عليها من تفجيرات ذات حصائل أدنى. وقوانين القياس أدوات ضرورية في اختيار حصائل التفجيرات وفي تحديد عمق الدفن الصحيح لاحداث فوهة ذات أبعاد مرغوبة. ولا بد أن تكون هذه القوانين قابلة للتطبيق على كثير من أنواع الصخور والتربة.

ونظرياً فان حصيلة الطاقة التفجيرية المطلوبة لاحداث فوهة ذات حجم معين تقاس تقريباً بمكعب أبعاد الفوهة. وهذا صحيح اذا كان تأثير الجاذبية جديراً بالاهمال. ويشرح قياس الجذر التكعيبي بشكل طيب أداء شحنات

المتفجرات العالية ذات الحصائل المنخفضة التي لا تزيدعن طن واحد تقريباً . وعلى ذلك فاذا أردنا مضاعفة أياً من نصف قطر فوهة او عمقها فيكون من اللازم استخدام شحنة ذات حصيلة أكبر ثمانية (٢^٣ = ٨) مرات . وبالعكس فان الابعاد الطولية للفوهة تقاس بالجذر التكعيبي لحصيلة المتفجر . وعلى وجه العموم فان هذه العلاقات يعبر عنها بالمعادلات الثلاث الاساسية لقوانين القياس :

$$\text{ع ف م} = \frac{\text{ع ف}}{\text{ح}^{\text{١/أ}}}$$

$$\text{نق ف م} = \frac{\text{نق ف}}{\text{ح}^{\text{١/أ}}}$$

$$\text{ع د م} = \frac{\text{ع د}}{\text{ح}^{\text{١/أ}}}$$

حيث ع ف م = عمق الفوهة المقاس

ع ف = عمق الفوهة

نق ف م = نصف قطر الفوهة المقاس

نق ف = نصف قطر الفوهة

ع د م = عمق الدفن المقاس

ع د = عمق الدفن

ح = الحصيلة (وزن الكمية المعادلة من ت ن ت بالكيلوطن) .

١/أ = عامل القياس (حيث أ = ٣ر٢ ، ٣ر٤ أو ٤)

$\text{ح}^{\text{١/أ}}$ = $\sqrt[\text{أ}]{\text{ح}}$ جذر ح الالفي

وعند الحصائل الأعلى (١٢) يمكن وصف أبعاد الفوهات بشكل أفضل على أنها تقاس بالأس (١/٤ر٣) للحصيلة . وبتعبير مبسط فان هذا يعني أنه يلزم زيادة الحصيلة الى ١٠ أضعافها كي تزيد الابعاد الطولية للفوهة الى ضعفين . ويوضح التحليل البعدي الذي يتضمن تأثيرات الجاذبية أنه بالنسبة للحصائل الكبيرة عند أعماق انفجار كبيرة فان أبعاد الفوهة يلزم أن تقاس بالجذر الرابع لحصيلة المتفجر . وفي ظل قانون القياس هذا فان حصائل المتفجرات يجب أن ترفع الى ١٦ ضعف لزيادة أبعاد الفوهة الى ضعفين .

ويمكن الحصول على الابعاد القصوى للفوهة باستخدام عمق دفن مقاس محدد يحسب من الحصيلة وعمق الدفن الفعلي . وحيث أن عامل القياس المستخدم لعمق الدفن ، ١/٤ر٣ ، هو نفس عامل القياس المستخدم لأبعاد الفوهة فانه اذا تضاعفت الحصيلة عشر مرات يلزم أن يضاعف عمق الدفن مرتين كي نحتفظ بنفس عمق الدفن المقاس اللازم للأبعاد القصوى للفوهة . أي أن :

$$\text{ع د م} = \frac{\text{ع د}}{\text{ح}^{\text{١/٤ر٣}}} = \frac{\text{٢ ع د}}{(\text{١٠ ح})^{\text{١/٤ر٣}}}$$

ولقد كان لحدث سيدان حصيلة متفجر ١٠٠ ك ط . وتنبأت الحسابات السابقة لسيدان والمبنيةعلى قياس١/٤ر٣ بفوهة عمقها ٣٠٠ قدم وعبر الفوهة ١٤٠٠ قدم . فاذا اتخذ أساس قياس ١/٤ كانت الأبعاد المتنبأ بها ١٧٠ قدم و١٢٠٠ قدم على التوالي . وكانت الابعاد الفعلية لفوهة سيدان ٣٢٣ قدم عمقاً و١٢١٦ قدم عبر الفوهة تعبر بالتقريب عن قياس عمق ١/٤ر٣ وقياس قطر ١/٤ .

ولا يتبع عامل القياس لشق الخنادق أو باطلاق شحنات صفية في وقت واحد قياس ١/٣ حتى بالنسبة للشحنات الصغيرة . وبدلاً من ذلك يقترب عامل

القياس من ٢/١ أو علاقة جذر تربيعي . وحينما توضع خمس شحنات تفويهية أو أكثر في خط مستقيم عند العمق الملائم وعلى بعد نصف قطر فوهة واحد تقريباً من بعضها البعض وتطلق في وقت واحد فانها تحدث خندقاً ذا جوانب وقاع ممهدة . ويزيد حجم الحفر الكلي بحوالي ٢٠٪ عما لو كان قد أطلق نفس العدد من شحنات تفويهية منفردة . ويرمى القسم الأكبر من المادة المقذوفة على الجانبين بينما لا يرمى شيء تقريباً عند الطرفين . وهذه الظاهرة الأخيرة تجعل هذه التقنية مناسبة بصفة خاصة لانشاء القنوات .

وقد تم الحصول على معظم الخبرة في شق الخنادق من استخدام متفجرات كيميائية تتراوح أحجامها بين ٢٥٦ رطلاً و٢٠ طناً . وتتطلب المشروعات الكبرى المقترحة متفجرات نووية في مدى الميجاطن وعند هذا المستوى قد لا يستمر عامل القياس ٢/١ في الانطباق .

وان تطوير وفهم قوانين القياس للحفر النووي في أوساط مختلفة وعلى مدى واسع من الحصائل يمكن اكتسابه فقط من خلال التجارب الحقلية . وقد نصل الى أن قوانين القياس القابلة للتطبيق أكثر تعقيداً مما هو معتقد حالياً وأنه يجب تضمين عوامل أخرى مثل عمق ونوع الحمل العلوي .

ولم تجر سلسلة تفويه بالمتفجرات العالية (١٢) لتحديد تأثير التكون من طبقات على أبعاد الفوهة . ولكن أجريت ثلاث تجارب نووية (كابريوليت وبجي وشونر) في أوساط مكونة من طبقات لاعتبارات الضرورة . ومن بين هذه الثلاثة أحدثت بجي وحدها أبعاداً أصغر بشكل ذي دلالة عن تلك التي تنبىء بها على أساس خبرة التفويه السابقة في الصخر الصلب .

وبسبب القيود السياسية والاقتصادية فان الحجم الرئيسي من البيانات عن التفويه مستمد من تجارب التفويه بالمتفجرات العالية . وبالرغم من الفروقات في مصادر الطاقة فان منحنيات التفويه المستمدة من متفجرات عالية تعين

المنحني النووي بشكل كاف تماماً بما يسمح بتصميم تجارب للتفويه النووي بقصد التثبت . ونقطة ضعف كبيرة هي أن عمق الانفجار الأمثل للمتفجرات العالية (م ع) قد يوجد عند عمق انفجار مقاس اكبر من ذلك الخاص بالمتفجرات النووية (م ن) . وهذا أمر بالغ الأهمية في الصخر الجاف الصلب حيث تتناقص أبعاد الفوهة بسرعة مع زيادة عمق الانفجار عن العمق الامثل وتجعل التنبؤ بحجم الفوهة عند هذا المدى معرضاً لأكبر الشكوك . فبالنسبة لحصيلة معينة من م ن و م ع عند نفس العمق فان سرعات الشظايا والتعجيل الغازي تكون أكبر بشكل واضح من مصدر م ع عنها من مصدر م ن .

وقد ظهرت في المراجع المنشورة معلومات تفصيلية أخرى وتحسين لفهمنا لظواهر التفجير التفويهي ، ويمكن البحث عن أمثلة منها في مراجع مختلفة (٢٦ ـ ٣١) .

أمثلة لبعض أحداث التفويه النووي

فيما يلي بعض أمثلة توضيحية لأحداث تفويه نووي :

١ ـ الأحداث الأمريكية :

لقد شرح ج . تومان (١٢) ستة أحداث تفويه وحيدة الشحنة وهي سيدان ، داني بوي ، سلكي ، بالانكوين ، كابريوليت ، وشونر وكذلك بعضاً من فوهات م ع . وفي مشروع داني بوي أطلق متفجر ٠ر٤٢ ك ط في صخر جاف صلب (بازلت) عند عمق ٥ر٣٣ م . وفي مشروع بالانكوين أطلق متفجر ٣ر٤ ك ط في صخر صلب عين على انه تراكايت بورفيريتي عند عمق ٣ر٨٥م . وكانت حصيلة المتفجر في مشروع كابريوليت حوالي ٣ر٢ ك ط وأطلق عند عمق ٥٢ م في صخر تراكايت بورفوريتي صلب .

وسنذكر هنا الأحداث الثلاث الأخرى بتفاصيل أكثر (١٢).

وسنشرح في التقرير فيما بعد مشروع بجي (صف من ٥ شحنات فردية كل منها ١ر١ ك ط).

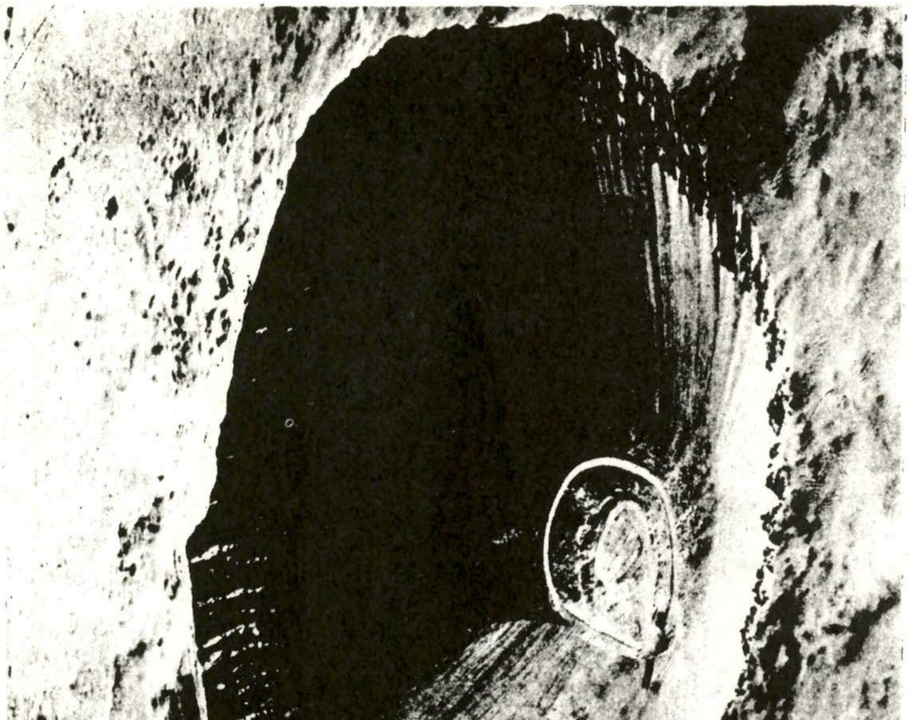
أ - سيدان:

ان متفجر سيدان ذا ١٠٠ ك ط أكبر شحنة تفجير أطلقتها الولايات المتحدة حتى الآن. وقد دفن عند عمق ١٩٣ م في اللوفيوم صحراوي وأطلق في ٦ يوليو ١٩٦٢. ونتج عنه تكوين فوهة ذات نصف قطر ١٨٥ م وعمق ٥ر٩٨ م. والحجم الظاهري للفوهة حوالي ١ر٥ × ١٠^٦ م^٣ وحجم الحافة ٢ر٣ × ١٠^٦ م^٣. وتتراوح ارتفاعات الحافة بين ٥ر٥ و٢٩ م. وبالمقارنة بالأبعاد الناتجة عن م ع في نفس المادة فان نصف قطر فوهة سيدان أصغر بحوالي ١٠٪ الى ٢٠٪ تقريباً، بينما العمق متساوٍ تقريباً عندما نستخدم قياس ح ^١/٤ر٣.

وعند الاطلاق ارتفعت قبة نصف كروية تقريباً ذات نصف قطر حوالي ٣٦٥ م الى ارتفاع حوالي ٩٠ م في ٣ ثواني قبل أن يشاهد أول تنفيس. واستمر الركام في الارتفاع الى أن حدث تنفيس عام وتفكك الركام عند حوالي ٤ ثواني. ومن المحتمل أن ارتفاع القبة كان حينذاك أقل من ٢٠٠ م. وكانت سرعات الشظايا الأولية حوالي ٣٥ م/ثانية وكانت السرعات بسبب التعجيل الغازي في الوقت اللاحق تزيد على ٤٠ م/ثانية. والشكل (٥) صورة فوتوغرافية لفوهة سيدان.

ب - سلكي:

لقد صمم مشروع سلكي لبحث طبيعة منحني التفويه النووي عند عمق مقاس أكبر من العمق الأمثل. فأطلق متفجر ٩٠ر٠ ك ط في ١٨ ديسمبر ١٩٦٤ عند عمق ٤ر٢٧ م في نفس التكوين البازلتي مثل داني بوي. وأنه ولو



شكل (٥) منظر جوي لفوهة سيدان (م ن ، ١٠٠ ك ط ، عمق ١٩٣ م). (١٢)

أن المتفجرات العالية عند هذا العمق المقاس قد كانت ستحدث فوهة الا أن سلكي نتج عنه ريتارك أو ركام من الدبش. وكان سلكي تجربة قيمة من حيث أنه أثبت وجود تغير حاد في منحنيات التفويه النووي فيما بعد أعماق انفجار مقاسه أكبر من حوالي ٤٠ م/ك ط$^{١/٣ر٤}$ وقدم معلومات عن قدرات المتفجرات النووية في تكسير الصخور بغرض استخراج الأحجار.

وعند الانفجار تحول السطح الى ركام بالطريقة العادية ولكن السرعة الأولية للشظايا ذات ٢٦ م/ثانية دون أن يتلوها تعجيل غازي لم تكن كافية لقذف مادة لتكوين فوهة. فقد وصلت طبقات الصخر السطحية الى ارتفاع أقصى حوالي ١٠٠ قدم وسقطت على الأرض داخل متوسط نصف قطر ٧٩ قدم من صفر سطح الأرض وكان متوسط ارتفاع الحافة أو الركام ٣ر٦ م وحجم الركام ٩٠٠٠ م^{٣} تقريباً ويوضح الشكل (٦) ريتارك (ركام) سلكي.

جـ - شونر:

نفذت تجربة شونر ذات المتفجر ٣٥ ± ٥ ك ط الموضوع عند عمق ١١٧ م في تكوين توف في ٨ ديسمبر ١٩٦٨. وكان أحد الاهداف الرئيسية للتجربة تحديد تأثير تصاعد الحصيلة على حجم الفوهة في الصخر الصلب. وتعطي القياسات الأولية لفوهة شونر النتائج المتوسطة التالية:

نصف القطر الظاهري	١٣٠ م
العمق الظاهري	٤ر٦٣ م
ارتفاع الحافة الظاهري	٤ر١٣ م
نصف قطر قمة الحافة	١٤٧ م
نصف قطر حدود المقذوفات	٥٣٨ م
الحجم الظاهري للفوهة	٧٤ر١ × ١٠^{٦} م^{٣}
الحجم الظاهري للحافة	٢ر١ × ١٠^{٦} م^{٣}

ونصف القطر المقاس لفوهة شونر أكبر بشكل واضح عن مثيله في

كابريوليت أو داني بوي (١٥٠ قدم/ك ط ١/٤ر٣ بالمقارنة مع ١٤٢ و١٣٩ قدم/ك ط ١/٤ر٣).

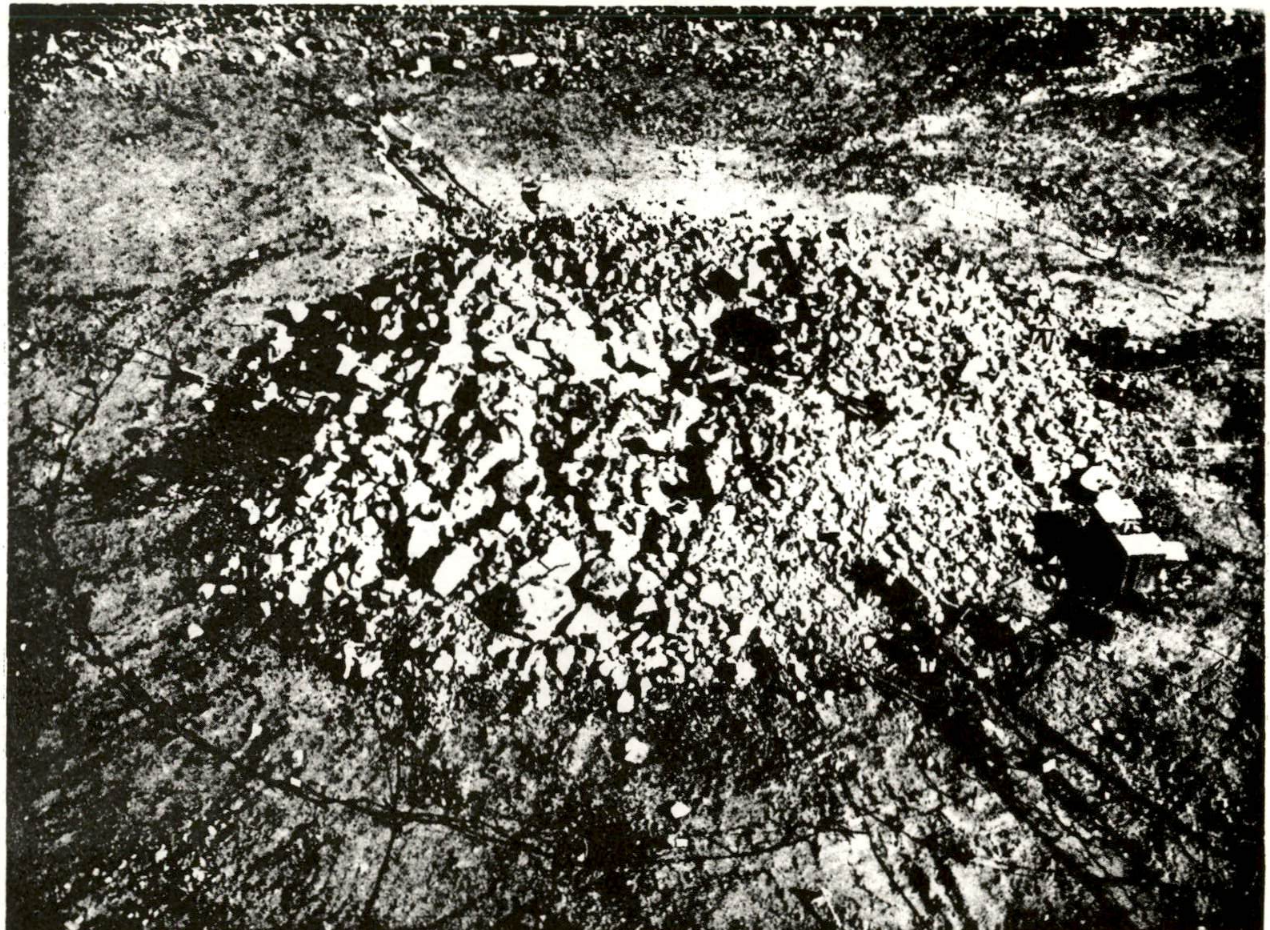
ولدى التفجير قيست سرعة ذروة للشظايا قدرها ٥٥ م/ثانية عند حوالي ٢٠٠ ميللي ثانية. وزادت مرحلة تعجيل غازي السرعة الى حوالي ٦٥ م/ثانية بادئة عند ٦٠٠ - ٧٠٠ ميللي ثانية. ووصل الركام الى ارتفاع ٣ر٨ م عند ٧٣ر١ ثانية وذلك قبل حجب الرؤية عن حركة اتساع السطح نحو الخارج. وحدث أول تنفيس من القبة عند ٧٥ر١ ثانية. وعند حوالي ٢ ثانية تفجر الركام بعنف قاذفاً مقذوفات الى مسافات تزيد على ميل واحد.

ولا يبدو العمق المقاس الضحل متمشياً مع السرعات العالية التي قيست للركام. وينبع تفسير معقول لذلك من طبيعة التكوين الجيولوجي عند الموقع التي كان لها التأثير الصافي بتحويل القوى الموجهة للسرعة نحو ص س أ (صفر سطح الأرض) بمقدار ١٥° بعيداً عن اتجاه نصف قطر يمر بنقطة الاطلاق. وربما أن هذا التأثير قد أدى الى سقوط كمية أكبر من المادة في داخل حدود الفوهة كتساقط خلفي.

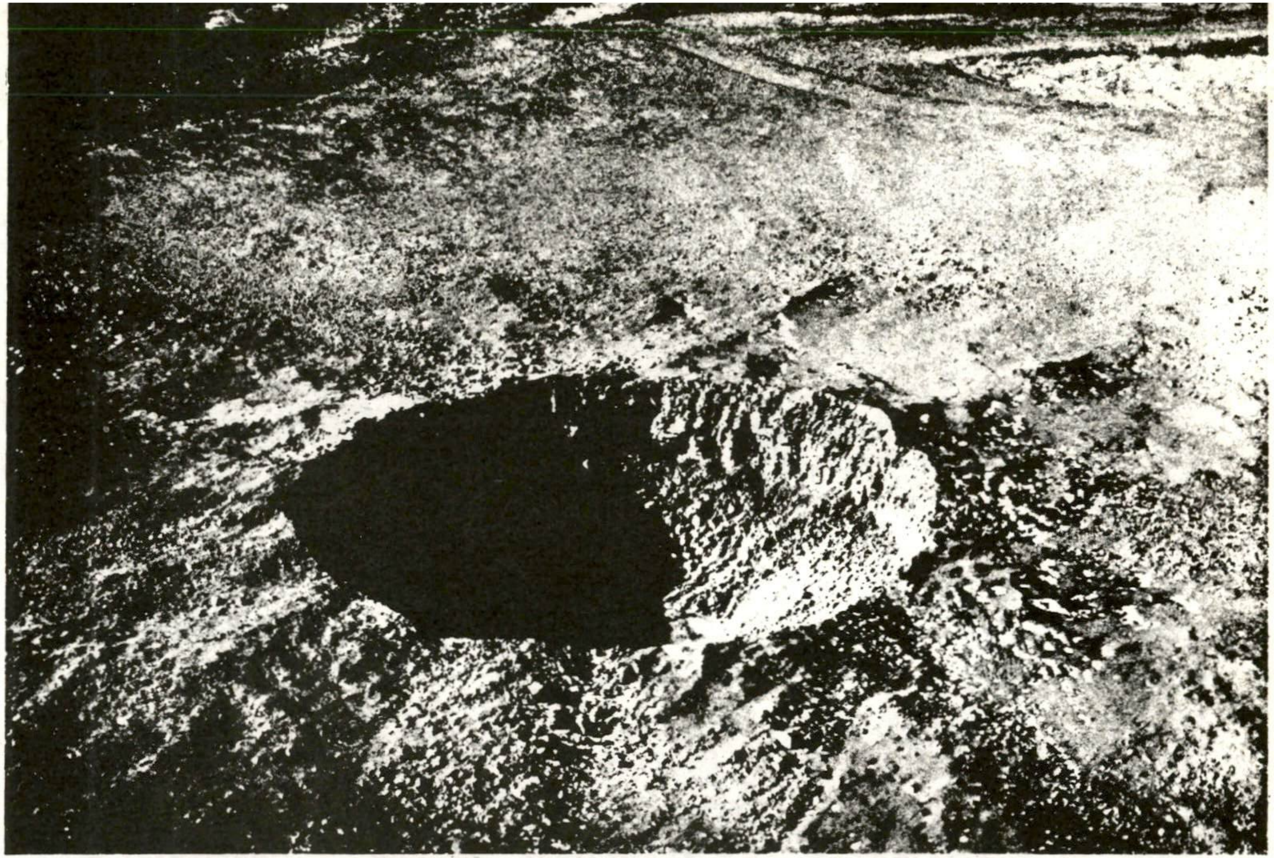
والتركيب الجيولوجي عند موقع شونر من شكل يمكن تقسيمه الى أربع طبقات أولية. والطبقة الاولى الممتدة من السطح الى ١٢٠ قدم مكونة من توف جاف كثيف كفء وملتحم ذي متوسط كثافة ٣٥٣ر٢ جم/سم^{3}. أما الطبقة الثانية الممتدة الى ٢١٠ قدم فهي مسامية جداً وذات كثافة جافة ٥ر١ جم/سم^{3} ومتوسط محتوى مائي ٨ - ١٠٪ بالوزن. والثالثة من ٢١٠ الى ٣٣٧ قدم مسامية للغاية وكثافتها الجافة ٢٥ر١ جم/سم^{3} وتحتوي ٢٠ - ٣٨٪ ماء بالوزن. أما الطبقة الرابعة من ٣٣٧ الى ٤٨٠ قدم فهي شبيهة بالطبقة الأولى. وفي صورة فوهة شونر (شكل ٧) ترى طبقة الصخر الصلب الكفء الأولى مكشوفة في القسم الأعلى لانحدار الفوهة.

٢ - الحدث الهندي:

لقد قدم ر.شيدامبارام ور. رامانا الحدث الهندي (٢٩). وأوضحنا أن



شكل (٦) منظر علوي لركام سلكي
(م ن ، ٩٠ر٠ ك ط ، عمق ٤ر٢٧ م). (١٢)



شكل (٧) منظر جوي لفوهة شونر (من ٣٥ ك ط ، عمق ١١٧ م) وطبقة الصخر الاولى ذات التكوين الصلب مكشوفة في القسم الاعلى لانحدار الفوهة (١٢).

التطبيقات مثل تحفيز خزانات الزيت وتعدين المعادن غير الحديدية مبشرة في نطاق ظروف الهند. وكخطوة في سبيل دراسة تأثيرات التشريخ في الصخور واحتواء الاشعاعية والحركة الأرضية وغيرها من الأوجه، أجريت تجربة تفجير نووي سلمي تحت الأرض في صحراء راجستان تحت ظروف جوية ملائمة في ١٨ مايو ١٩٧٤. وكانت حصيلة متفجر البلوتونيوم حوالي ١٢ ك ط. وعند الانفجار ارتفعت الأرض التي فوق نقطة الموضع بسرعة أولية للشظايا حوالي ٣٠ م/ثانية لتكون قبة نصف قطرها ١٧٠ م وارتفاعها ٣٤ م. وتم الوصول الى الذروة في حوالي ٥ر٢ ثانية. وبقي الركام أساسياً دون مساس أثناء النمو والسقوط. وكانت احدى خصائص هذا الحدث أن قياسات الضغط الجوي داخل بضع كيلومترات من ص س أ لم تعط أي اشارة عن فرقعة هوائية ناشئة عن غازات الفجوة الهاربة. وبالاضافة لذلك فان الكشف الاشعاعي والتحليل الكيميائي الاشعاعي بينت أنه لم تتسرب أية اشعاعية الى الجو أثناء التجربة، على خلاف الخبرة في احداث التفويه الأخرى. وقد فسرت هذه الملحوظات على أنها مرتبطة بخصائص وسط التفجير



شكل (٨) صورة فوتوغرافية للفوهة الهندية مأخوذة من هيليكوبتر سريعاً بعد التفجير (٢٩)

المكون من صخر جاف ليس به معادن كربوناتية ذات دلالة . والافتقار الى بخار يد$_{٢}$ أ و ك أ$_{٢}$ يمكن أن يؤدي الى مرحلة تعجيل غازي تافهة . وقد أحدثت التجربة فوهة ظاهرية ، شكل (٨) ، ذات متوسط نصف قطر ٤٧ م وعمق ٨ م تحت سطح الأرض السابق للاطلاق . ويتغير ارتفاع الحافة بشكل كبير بين ٦ م في بعض الاماكن و١ر٢ م في أماكن أخرى . ولم تقابل أي اشعاعية على أقرب من ٣٠ م من سطح الأرض السابق للاطلاق أو داخل تجاويف الثقوب الرأسية الواقعة أبعد من ٨٠ م من ص س أ .

الفصل الرابع

أوجه الصحة والأمان للتفجيرات النووية السلمية

ان معطيات ت ن س ذات الدلالة للصحة والأمان هي : الصدمة الأرضية ، الفرقعة الهوائية والجيشان القاعدي ، الاشعاعية ، وأمان المتفجر. وفي نطاق م ح ج أ تجري جميع أحداث ت ن س تحت الأرض وبالتالي فليس هناك أي اهتمام كبير بالمخاطر الحرارية.

وقد استعرضت المعطيات المختلفة ذات الاهتمام بشكل واف في المراجع المنشورة (١ ، ٨ ، ٩ ، ١٠ ، ٢٣ ، ٣٢ ، ٣٣ ، ٣٤). وفيما يلي موجز لهذه الاعتبارات كما تظهر في المراجع المنشورة.

أولا ـ الصدمة الأرضية :

في جميع التفجيرات النووية تحت الأرض ، المحتواة والتفوهية ، تكون حركة الأرض عنيفة بالقرب من التفجير ولكنها تنقص سريعاً مع المسافة من موقع التفجير. فبعد أن تكون موجة الصدمة قد استنفدت قسماً رئيسياً من طاقتها في تبخير الصخور وصهرها وتحطيمها وتشريخها تشع موجات مرنة وتنتشر على مسافات كبيرة خلال الأرض. ويؤدي فعل هذه الموجات الى ذبذبات زلزالية عند سطح الأرض ؛ وتنخفض قيمة ذروة هذه الذبذبات مع البعد عن موقع التفجير (٩). والذبذبات الزلزالية التي يمكن أن تؤدي الى أضرار بالمباني والانشاءات تحدث في منطقة نصف قطرها من رتبة عدة كيلومترات في حالة التفجيرات التي تصل حصائلها الى عدة كيلوطن. ويرتفع

نصف قطر هذه المنطقة بشكل تقريبي في حالة التفجيرات الأقوى في تناسب مع قوة التفجير بأس ١/٣ .

وفي الواقع فان الحركة الأرضية هي المشكلة الأساسية التي تحس بها الجماعات المحيطة بالتفجير النووي (١٠) . ويمكن تحليل هذه المشكلة الى ثلاثة أقسام وهي تعتمد على : طبيعة المصدر والوسط المحيط به مباشرة ؛ طبيعة الوسط في طريق الارسال بين المصدر والانشاءات موضع الاهتمام ؛ خصائص الانشاءات وطبيعة المواد التي بنيت عليها . ونوع الضرر المتضمن بشكل أكثر شيوعاً في التطبيقات النووية المحتواة معماري وليس انشائياً. ورغم ذلك فان مثل هذا الضرر يشكل « تكاليف حقيقية » ويجب أخذه في الاعتبار في تخطيط أي تجربة ت ن س .

وقد استخدمت الدراسات المبكرة للهندسة النووية قمة التعجيل الأرضي للجسيمات ، أو سرعة الازاحة ، كمعيار لتعيين حدود ضرر الحركة الأرضية بدون تعيين محتوى التردد بالنسبة لتردد البناء (٨) . وبمزيد من الخبرة في مدى الميجاطن (م ط) والاحصائيات من المسوح الشاملة للأضرار يتضح أن هذا الاتجاه يؤدي الى خطأ واستخدامه حالياً محصور في الاستطلاع المبكر . وتتضمن الطرق الاحدث للتنبؤ بضرر الحركة الارضية الأخذ في الاعتبار لتوزيع تردد الحركة الأرضية وترددات الاستجابة الطبيعية للانشاءات ومعاملات التضاؤل الوثيقة الصلة بالموضوع والاستطارة في كل من الحركة الأرضية والمقاومة الانشائية . وتتطلب هذه الطرق المعقدة جهداً ضخماً من الحساب بالكمبيوتر . وطريق تجريبي مبشر بالنجاح أن يرسم احتمال الشكاوى من الأضرار المعمارية ضد التعجيل البسودو مطلق كمعيار للضرر . (التعجيل البسودو مطلق هو استجابة البناء المحسوبة ، والمعالجة كنظام درجة مفردة ، للحركة الأرضية الفعلية) .

وتمكن البيانات التجريبية المتاحة من التنبؤ ببرامترات الذبذبات

الزلزالية المسؤولة عن ضرر المباني من التفجيرات التي تحدث تحت ظروف جيولوجية مختلفة ؛ ودقة مثل هذه التنبؤات كافية لأغراض التصميم الهندسي ولتقدير مستويات الضرر وتكاليفه (٩) . ويعتمد احتمال الضرر للأنواع المختلفة على برامترات الذبذبة . وهذا الاعتماد المعين تجريبياً يجعل من الممكن تعيين الحدود الخارجية لمنطقة الخطر والدرجة الممكنة للضرر الناشيء من التفجير الذي نحن بصدده .

وتفرض الحركة الأرضية قيد الأمان الأساسي في اختيار موقع لتفجير نووي محتوى ، وحتى بالنسبة لتفجيرات التفويه فانها يمكن أن تكون أكثر حرجاً من الاشعاعية والفرقعة الهوائية (٨) .

ويلزم اعطاء عناية كبيرة في اختيار موقع لمشروع ت ن س لكل أوجه الأمان بما فيها الحركة الأرضية وذلك للحد من دعاوى الأضرار الى مستوى أدنى مقبول اقتصادياً .

ويمكن الحصول على تفاصيل اضافية عن الموجات الزلزالية وتأثيراتها من المراجع المنشورة (٣٥ ، ٣٦) .

ثانياً ـ الفرقعة الهوائية والجيشان القاعدي :

هذه ليست من المخاطر في التفجيرات النووية المحتواة . ومن ناحية أخرى ففي احداث التفويه النووي فان الغازات المنفوسة والمكونة من نواتج تحلل الصخر غير القابلة للتكثف والهواء والبخار فوق المسخن تتمدد بشكل ثابت الحرارة لتكون هالة طويلة تسمى بالسحابة الرئيسية (٣٣) . وفي الأوساط الشديدة الجفاف ليس من الضروري ان تتكون سحابة رئيسية نظراً لأنه بدون انتاج هام من البخار فان ضغط الفجوة يكون أقل كثيراً في وقت التنفيس . وبالاضافة الى تكوين السحابة الرئيسية تخلق سحابة في مستوى أدنى تعرف

بالجيشان القاعدي بواسطة تدفقات الهواء الانجذابية الناتجة من عمليات التفويه.

والجيشان القاعدي ظاهرة لأي تفجير محدث لفوهة (١). ولكنها على أي حال غير ملحوظة بنفس القدر في التفجيرات الكيميائية لأنها صغيرة جداً. ويتكون الجيشان القاعدي من سحب تراب تطرد في كل الاتجاهات فوق الأرض بواسطة ضغوط الانفجار. والجيشان القاعدي من تفجير نووي تفويهي يمكن أن يكون سمكه عدة مئات من الأقدام وأن يتحرك بعيداً بضعة أميال قبل أن يتبدد. والقسم الأكبر من الاشعاعية غير المحتواة بالقرب من التفجير يترسب على الأرض التي يتحرك عليها الجيشان القاعدي. ومن حسن الحظ فان النظائر المشعة المعينة التي تترسب بهذا الطريق تتحلل سريعا وتكون المنطقة بسرعة آمنة للدخول ثانية.

ويمكن أن تسبب انفجارات التفويه النووية ضرر الفرقعة الهوائية بالقرب من الانفجار وذلك بواسطة موجة الفرقعة المباشرة، على مدى متوسط (٥٠ ـ ١٠٠ كم) بانكسار موجة الفرقعة في الطبقة السفلى من الغلاف الجوي تحت ارتفاع ١٥ كم وعلى مدى (١٠٠ ـ ٢٠٠ كم) بالانكسار في الغلاف الأوزوني الأيوني عند ارتفاع ٣٠ الى ٤٥ كم (١٠). وللتحكم في هذا الخطر الكامن فمن المهم فهم اشارة الفرقعة الهوائية الناتجة من تفجيرات التفويه النووي وارسال الفرقعة الهوائية تحت ظروف جوية مختلفة واستجابة الانشاءات الممثلة لموجات الفرقعة الهوائية الساقطة عليها.

وان الخطر الرئيسي للفرقعة الهوائية هو تكسير النوافذ ولو أنه قد سجلت حالات تشقق للجص. وتتوفر حالياً معلومات جيدة لربط مستويات فوق ـ الضغط الخاص بالفرقعة الهوائية باحتمال التكسير كعلاقة تتوقف على حجم النافذة وذلك نتيجة للدراسات الحديثة لحوادث التفجيرات الكيميائية والدوي الصوتي للطائرات فوق الصوتية (٣٧).

وفيما يلي تحليل للفرقعة الهوائية (١٠).

الفرقعة القريبة:

تقاس المسافة التي تحدث عندها الموجة المباشرة للفرقعة الهوائية ذروة معينة من فوق ـ الضغط بأس ١/٣ لحصيلة المتفجر وهي مستقلة بدرجة كبيرة عن الريح والجو داخل حوالي ١٠ كم. وخارج هذه المسافة تسود تأثيرات الانكسار وتحدد ظروف الطقس فوق ـ ضغط الفرقعة.

الفرقعة الهوائية ذات المدى المتوسط:

ان انكسار موجة الفرقعة الهوائية في طبقات الجو السفلى ثانية الى الأرض عند مدى من ٥٠ الى ١٠٠ كم ينتج من طبقة من الهواء في طبقات الجو السفلى ذات سرعة صوت أعلى من تلك الموجودة عند السطح. وهذه الطبقة مرتبطة عادة بوجود تيارات رياح نفاثة. وعلى وجه العموم فانه في أي فترة من بضعة أسابيع تكون الفرصة تافهة لفوق ـ الضغوط الضارة من الانكسار في طبقات الجو السفلى. وعلى ذلك فان مخاطر الفرقعة الهوائية في المدى المتوسط تعتبر في الاعتبار الأول مسألة تشغيلية أكثر منها تصميمية.

الفرقعة الهوائية ذات المدى الطويل:

تلمس الذروة فوق ـ الضغطية للفرقعة الهوائية ذات المدى الطويل في «مدى صوتي»، ١٠٠ الى ٢٠٠ كم من الانفجار في اتجاه واحد، وتتوقف بشدة على الظروف الجوية في الغلاف الأوزوني والغلاف الأيوني. فالرياح عند هذا الارتفاع تتغير مع الفصول وتهب عامة من الشرق في الصيف ومن الغرب في الشتاء في نصف الكرة الشمالي. وقد يتغير فوق ـ ضغط الفرقعة الهوائية ذات المدى الطويل بما يصل الى عامل ١٠ بين أفضل الأوقات المواتية وبين أسوئها في السنة متوافقاً مع الوقت الذي تكون عنده النقطة ضد اتجاه الريح أو مع اتجاهها بالنسبة للانفجار بالترتيب. وتحدث التغييرات اليومية في رياح الغلاف

الأوزوني تغيراً ضخماً في مقدار ضغوط الفرقعة الملموسة عند أي نقطة في اتجاه الريح في دائرة الصوت . وهذه التغيرات وكذلك تغيرات الفصول يمكن التنبؤ بها عندما تكون أنماط الطقس المحلي مثبتة جيداً .

توهين الفرقعة :

الفرقعة الهوائية من تفجير تفويه تحت الأرض توهن عامة بقدر أكبر كثيراً من تلك الناجمة عن تفجير سطحي . فالدفن ينقص الفرقعة الهوائية القريبة بعامل ١٠ الى ١٠٠ . وتوهن الفرقعة الهوائية طويلة المدى بعامل بين ١ ، ١٠ بواسطة الدفن . ويزداد التوهين مع العمق المقاس للانفجار ولكن وجدت تغيرات كبيرة من وسط لآخر وبين المفجرات النووية والكيميائية .

والمصدر الرئيسي للفرقعة الهوائية هو حركة سطح الأرض الأولى أثناء الشظايا وانطلاق غازات الفجوة . والقدر النسبي لهذين المصدرين يتغير مع عمق الدفن ونوع الوسط . ومن المسائل المثيرة لأكبر الاهتام بالنسبة للفرقعة الهوائية طويلة المدى نبضة منفس الغاز التي قد تكون في بعض الحالات أكبر بضعف أو أكثر من نبضات الصدمة الأرضية . وتعتمد تقنيات التنبؤ على حساب ميكانيكيات المصادر هذه واقترانها مع الجو .

وفوق ـ ضغوط موجة الفرقعة خارج الموقع من تفجيرات التفويه يمكن التنبؤ بها بقدر معقول من الثقة بقياس منحني فوق ـ ضغط الانفجار الهوائي/المسافة ، المعدل بعوامل تسمح بتأثير الحمل العلوي في كتم الصوت والنقل الأنبوبي الجوي والتركيز البؤري الجوي عند المدى الطويل (٨) ؛

وبالنسبة لتفجير الحفر فان الضرر يحدث بواسطة الفرقعة الهوائية المباشرة على مسافات من عشرات الكيلومترات بالنسبة لحصائل في مدى الميجاطن (٩) . وعلى مسافة أكبر تسود تأثيرات الموجات المنكسرة في الجو . وان معرفة أنماط الجو المحلي وملاحظة الرياح في الجو تمكن من اختيار توقيت التفجير

بحيث أن الموجات المنكسرة لا تركز بؤرياً على المناطق المبنية وبذلك يمكن ان يكون الضرر من الموجات المنكسرة في أدنى حد .

ثالثاً ـ الاشعاعية :

ان الأمان الراديولوجي واحد من أكثر الموضوعات التي بحثت بغزارة والمتصلة بالأمان في تجارب ت ن س . وسوف نعالج الأمان الاشعاعي في كل من التطبيقات المحتواة والتفويهية .

١ ـ الأمان الراديولوجي في التطبيقات المحتواة :

يمكن تقسيم مسألة الأمان الاشعاعي الى ثلاثة اقسام (١٠) : الأمان خارج الموقع للجمهور العام المحيط بالمشروع ؛ الأمان في الموقع أو الأمان الصناعي للعاملين بالمشروع ؛ وأمان الجمهور العام من تلوث المنتج . وتنتج الاشعاعية من ثلاثة مصادر :

أ ـ انشطار المواد النووية الذي ينتج مجموعة منوعة واسعة من النويدات المشعة ، نواتج الانشطار ، شاملة كلا من عناصر غازية وعناصر منيعة .

ب ـ التريتيوم الناتج من أي أفعال نووية حرارية في مصدر الطاقة وبتفاعل النيوترونات مع آثار الليثيوم في الصخر المحيط .

ج ـ النويدات المشعة الناتجة من تفاعل النيوترونات من المفجر مع مكونات المفجر والوسط المحيط بما في ذلك أي مادة تغليف أو جص .

والحصص النسبية للاشعاعات السالفة تتوقف على تصميم المتفجر النووي وكمية مادة التدريع الموضوعة حوله . وسيتوقف التصميم الامثل للمتفجر على التطبيق حيث أن كل تطبيق يتضمن عوامل مختلفة من العملية الصناعية ومشاكل الأمان والاقتصاديات .

والنويدات المشعة المحددة التي ينتجها الانفجار النووي هي نفسها بدرجة كبيرة بصرف النظر عن المتفجر النووي المستخدم انشطارياً كان أو اندماجياً ؛ ولكن الكميات النسبية من الاشعاعيات المتكونة المختلفة تتوقف بشكل حرج على نسبة الانشطار - للاندماج بالمتفجر (٣٢). وربما يكون التريتيوم أكثر نويدة مشعة حرجة تفرض اختيار متفجر نووي لأغراض كثيرة. فلاستخلاص أو تخزين موارد الأيدروكربون يكون من الأساسي أن ننقص للحد الادنى محتوى التريتيوم في المنتج فيفضل لذلك استخدام مفجر انشطاري على استخدام مفجر اندماجي. وينتج متفجر انشطاري من نوع دياموند ذي ١٠٠ ك ط حوالي ٢٠٠٠ كو (كوري) من التريتيوم بينما قد ينتج النوع الأخير حوالي ٢٫٠٠٠٫٠٠٠ كو. وقد طور متفجر دياموند وصمم بواسطة الولايات المتحدة خصيصاًلأغراض تحفيز الغاز. وفي حالة التعدين الكيميائي النووي للنحاس تم مرة أخرى استنتاج أن التريتيوم هو النويدة الحرجة في الاعتبار الأول نظراً للتعرض المحتمل لعمال مصنع التكرير. وعلى ذلك يتعين استخدام متفجر انشطاري لهذا التطبيق. وعلى أساس الاعتبارات السالفة يمكن القول بأنه بالنسبة للتطبيقات الهندسية تحت الأرض التي هي موضع الاعتبار حالياً تفضل بصفة عامة المتفجرات الانشطارية على المتفجرات الاندماجية.

وعند انفجار متفجر نووي ينتج الطيف الكامل لنواتج الانشطار (أكثر من ٣٠٠ نظير مختلفة). وهي تنتج بنسبة مختلفة ولها أعمار نصفية تختلف بين بالغة القصر وبالغة الطول. وتختلف كذلك في أن غالبيتها الكبرى منيعة بينما بعضها غازي أو متطاير. وأمثلة من نواتج الانشطار هي كريبتون - ٨٥ ، سترنشيوم - ٩٠ ، سيزيوم - ١٣٧ وروتينيوم - ١٠٦ ، يود - ١٣١ ، وسيريوم - ١٤١ . وحيث أن كلاً من المتفجر الانشطاري والمتفجر النووي الحراري يبعث حوالي ٢ × ١٠^٢٣ نيوترون لكل كيلوطن من الحصيلة فانه تتكون نفس

الكميات من مختلف نواتج التنشيط النيوتروني للصخر من نفس البيئة المحيطة بصرف النظر عن نوع المتفجر . والصنف المشع الوحيد الحساس لنوع المتفجر هو ٣ يد . وأنواع النظائر المشعة التي تتكون بتنشيط الصخر تتوقف على التركيب الكيميائي للصخر المحيط . وبالتالي فانها قد تشمل أيدروجين ـ ٣ ، كربون ـ ١٤ ، فسفور ـ ٣٢ ، حديد ـ ٥٥ وصوديوم ـ ٢٤ متوقفاً ذلك على نوع الصخر . وللاقلال من تنشيط الصخر فان المتفجرات النووية تدرع عادة بماصات للنيوترونات تحوي ماصات قوية مثل البورون . ومن ناحية أخرى فان التنشيط النيوتروني لمواد انشاء الاداة المتفجرة قد يؤدي الى انتاج بعض النظائر المشعة . وعلى ذلك فان كميات كبيرة من نويدات مثل تنجستن ـ ١٨١ ، تنجستن ـ ١٨٨ ، تانتالم ـ ١٨٢ قد لوحظت في أنقاض بعض احداث التفويه النووي . ولذلك تعطى عناية كبيرة في تصميم المتفجر النووي لمنع أو الاقلال لأدنى حد من تكوين النويدات المشعة التي يمكن أن تؤثر في صلاحية مشروع ت ن س .

وان توزيع النويدات المشعة التي يكونها انفجار نووي يتوقف على الخصائص الكيميائية لكل من هذه الأصناف عند الوقت الذي يحدث فيه تكوين المدخنة . أي أن تلك المواد المشعة التي تتصرف بطريقة منيعة ستوجد بكمية كبيرة فيما يسمى « بزجاج البريكه » أو المنصهر عند قاع المدخنة ، بينما تلك التي تظهر درجة ما من التطاير سنجد بقدر أكبر أو أصغر أنها تترسب على سطوح دبش المدخنة أو في داخل حجم الفراغات بين قطع الدبش . وبالاضافة فان نواتج الانشطار من الغازات ستكون موجودة في غاز المدخنة وكذلك المركبات الغازية للنويدات المشعة الاخرى فستكون موجودة بها أيضاً .

ولقد أجرى تيويس وزملاؤه (٣٢) استعراضاً شاملاً لمسارات التعرض الاشعاعي المحتمل مَن ثلاثة تطبيقات ت ن س محتواة مختلفة مغطياً التسرب العرضي للاشعاعية عند الانفجار أو بعده بقليل ، تسربات الغاز بعد الدخول

ثانية ، والتعرض الاشعاعي الوظيفي ، والهجرة طويلة المدى للاشعاعية في المياه الأرضية ، وتعرض السكان من الاشعاعية المحتواة في المنتج . وتطبيقات ت ن س النموذجية الثلاث المستخدمة في هذا الاستعراض كانت : تحفيز آبار الغاز ، تكسير أحجار طفل الزيت ، والتعدين الكيميائي النووي للنحاس . وقد توصل هذا الاستعراض الى استنتاج أن التعرض المحتمل لمجموع السكان من كل من هذه التطبيقات ينتج أساساً من الاستخدام العام للمادة المنتجة في كل تطبيق معين . وعلى كل حال فان تعرضات السكان الناتجة من استخدام منتجات ت ن س تقل نموذجياً عن ٥ر٠٪ من تلك الناشئة من الخلفية .

ويقدم نورديك (١٠) بالمثل التقييم التالي للمخاطر خارج الموقع . يمكن أن تحدث المخاطر خارج الموقع من الاشعاعية عند وقت الانفجار وكذلك أثناء مرحلتي الدخول ثانية للمدخنة وتقييم المنتج . وقد أوضحت خبرة لجنة الطاقة الذرية الامريكية بأكثر من ٢٧٠ تفجيراً نووياً تحت الأرض أن عمق دفن ع = ١٢٠ ح $^{١/٣}$ متراً كاف لاحتواء التأثيرات الديناميكية للانفجار والاشعاعية المنتجة . وعلى وجه العموم فان عمق غالبية التطبيقات المحتواة أكبر كثيراً من هذا العمق واحتمال هروب الاشعاعية رقم صغير للغاية . وبالرغم من ذلك فلا بد من الحرص الشديد في تخطيط وتنفيذ مثل هذه الاحداث لاقلال فرص التعرضات الاشعاعية خارج الموقع .

ويلزم كذلك التزام الحرص أثناء الدخول ثانية بعد الاطلاق الى بيئة التفجير وخاصة الى التكوينات المملوءة تماماً بالغاز حيث يمكن أن يوجد بها ضغط غازي هام بعد الاطلاق . ومن حسن الحظ فان التثقيب في مثل هذه الاوساط عالية الضغط تقنية معتمدة للتثقيب في حقول الغاز والزيت . ويسمح تأخير الدخول ثانية لمدة ستة أشهر لنظائر الزينون واليود قصيرة العمر بأن تتحلل ويكون الكريبتون ـ ٨٥ والتريتيوم هي العناصر الوحيدة الجديرة بالاهتمام . ويمكن انقاص كمية ^{٣}يد باستخدام متفجرات نووية انشطارية كلية

ولها تدريع ملائم. أما بالنسبة الى كريبتون ـ ٨٥ ، وهو غاز نبيل ، فاذا كان التلوث بهذا الغاز مرتفعاً بشكل غير مقبول فانه يمكن ازالته بالتقنيات الحالية.

وتلويث الطبقات الصخرية المائية الحاملة للمياه الأرضية أمر يلقي اهتماماً بالغاً في أي تطبيق للمتفجرات النووية. ولهذا السبب فمن المهم الحصول على فهم للحالة الهيدرولوجية لأي موقع مقترح لتطبيق نووي. وفي أغلب التطبيقات المحتواة نظراً للعمق الكبير يكون من الممكن اختيار موقع بعيد جداً عن أي طبقة صخرية مائية تشكل مصدراً لمياه الشرب. وفي كثير من التطبيقات فان وجود طبقة صخرية مائية قد تسرب الماء الى المدخنة يمكن أن يدمر العملية الصناعية أو يجعل من الصعب جداً تطويرها. وفي تلك الحالات التي يكون بها الماء مرغوباً فيه مثل اذابة مدخنة مغمورة فان قابلية أنقاض النويدات المشعة للذوبان ومعدل واتجاه فيض المياه الأرضية ومعدل تبادل وامتصاص تلك النويدات المشعة التي تظهر في المدخنة بواسطة المعادن التي تقابلها أثناء سريان الماء خلال الطبقة الصخرية المائية كلها أمور يلزم تحديدها. ويجب تحليل المسألة لكل حالة جيولوجية. ولكن الخبرة أوضحت عامة أن هجرة النويدات المشعة من المدخنة ليست قيداً وذلك بسبب قابلية الاذابة المنخفضة للنويدات المشعة ومعدل السريان المنخفض لغالبية الطبقات الصخرية المائية (١٠ ـ ١٠٠٠ م/سنة) ومعاملات التبادل أو التوزيع العالية لمعظم المعادن.

وقد قامت اللجنة الاستشارية المختصة في تقريرها الحديث (٩) الى و د ط ذ بتقييم الأمان الراديولوجي للتطبيقات المحتواة وأوضحت أنه ولو أن كل تطبيق فردي وكل موقع سيكون لها معطياتها الراديولوجية فان مسارات الاشعاع المحتملة والسابق الاشارة اليها هامة عامة في تطبيقات ت ن س المحتواة. وتتوفر عامة المنهجية لتقدير هذه المسارات. ويتوفر بيانات طقسية

وجيولوجية وهيدرولوجية ملائمة خاصة بالموقع فان كل المسارات، فيما عدا تعرض الجمهور الناتج من الاشعاعية المحتواة في المنتج، يمكن صياغتها في نماذج بشكل كاف جيداً للتنبؤ بالتأثيرات. وعادة يكون الاتجاه افتراض احتمالات «أسوأ حالة» لتقييم مسارات التعرض هذه. ومنهجيات تقدير تعرض الجمهور الناتج من استخدام المنتج موثوقا بها؛ ولكن بالنسبة للتطبيقات غير المختبرة فان المستويات التي تتوقع لتلوث المنتج تكهنية بدرجة كبيرة.

٢ ـ الأمان الراديولوجي في تطبيقات التفويه:

ان مصادر الاشعاعيات في تطبيقات الحفر هي نفسها كالتي سبق مناقشتها في التطبيقات المحتواة. ولكن الحفر بالمتفجرات النووية يتميز عن الاحداث المحتواة بالتنفيس الفوري للاشعاعية الى الجو. وتوزع الاشعاعية الناتجة من تفجير تفويهي في الاعتبار الأول بطريقتين (١٠):

أ ـ غالبية الاشعاعية تقتنص بجسيمات الانقاض التي تنتهي الى داخل الدبش وتسقط ثانية في الفوهة أو على الحافة.

ب ـ وقسم أصغر كثيراً، متضمناً تلك النواتج التي تكون غازية عند الاوقات المبكرة، يهرب الى السطح ويكتسح بواسطة الجسيمات الموجودة في سحابة التراب ويترسب «كتساقط خارجي فوري». ويسقط أكثر من ٩٠٪ من هذا التساقط الخارجي في نطاق ١٠ كيلومترات من الانفجار.

ومساهمة الغازات والمواد الصلبة التي تحملها الجسيمات الصغيرة جداً في التساقط الخارجي البعيد المدى ضئيلة للغاية في تفجيرات التفويه عميقة الدفن. فالقسم من الاشعاعية الذي ينفس من الفجوة ويهرب الى الجو يتناقص عامة مع عمق الدفن المقاس، ع.

ولقد حلل شفارتز وزملاؤه (٣٣) التأثيرات الراديولوجية لتفجيرات التفويه وهي ملخصة باختصار فيما يلي:

يجب أن تصمم مشروعات الحفر بما ينقص الاحتمال لحدوث تأثير بيولوجي للانسان من التعرض الاشعاعي من كل المسارات ذات الدلالة. والطرق الاساسية لتحقيق ذلك هي:

أ - استخدام متفجرات مصممة خصيصاً للحفر ذات حد أدنى من انتاج النويدات المشعة ذات الدلالة؛

ب - التفجير تحت ظروف طقسية مختارة مسبقاً؛

جـ - الاخلاء المؤقت للناس قبل الانفجار من القطاع القريب في اتجاه الريح بهدف انقاص التعرضات المحتملة الى الحد الأدنى.

وفي حدث التفويه النووي فان الغازات المنفوسة والمواد المتطايرة والهواء والبخار العالي التسخين والتراب تشكل السحابة الرئيسية والجيشان القاعدي كما سبق شرحه.

والأصناف المشعة المختلفة الناتجة من الانفجار ستتوزع بين المادة المنصهرة والغازات المنفوسة، متوقفاً ذلك على الخصائص الكيميائية لكل منها وقت التنفيس. ويمكن تقسيم سلوكاتها في مجموعتين عامتين: المنيعة والمتطايرة. والأصناف المنيعة هي تلك التي تكون في أشكال توجد كمواد صلبة أو كسوائل عند درجات الحرارة المرتفعة جداً وتتكثف سريعاً مع منصهر السليكات حينما تبرد الفجوة - مثل الأرضيات النادرة والحديد والكوبلت والمنجنيز والبلوتونيوم. وتشمل الاصناف المتطايرة الغازات الدائمة مثل الأرجون والزينون وكذلك تلك الموجودة كغازات في وقت التنفيس مثل نواتج الانشطار سيزيوم - ١٣٧ وسترنشيوم ٩٠. فأسلاف هاتين النويدتين الأخيرتين توجد كزينون وكريبتون بالتوالي لعدة دقائق بعد التكوين. ونويدة أخرى توجد كغاز

وقت التنفيس هي التريتيوم الذي يكون موجوداً كأيدروجين غازي أو كماء. وبالاضافة يجب أن نضع في الاعتبار تلك الأصناف التي تكون في أشكال كيميائية متطايرة وتوجد في توازن توزيعي بين الحالات الغازية والمتكثفة عند وقت تنفيس الفجوة؛ ويمثلها أصناف نواتج الانشطار مثل نظائر اليود ونظائر الروتينيوم ونواتج تنشيط مثل نظائر الرصاص والتنجستن.

ويبدو أن الأصناف المنيعة ترتبط ١٠٠٪ تقريباً مع صخر السيليكات المنصهر وتوزع بقدر طيب من التماثل خلال حجم القالب الزجاجي. ويوجد قسم صغير من كل من الاصناف المتطايرة غير الغازية في المنصهر. أما الاقسام غير المنصهرة فتترسب على سطح المادة المتساقطة خلفياً أو المرمية خارجاً وعلى الجسيمات الدقيقة في السحب كلما بردت وكلما تحللت الأسلاف الغازية الى أصناف قابلة للتكثف.

وتتوزع الاشعاعية الناتجة من التفجير بين الرمي الخارجي والتساقط الخلفي وسحابة الجيشان القاعدي والسحابة الرئيسية. وعند عمق التفويه الأمثل يحتجز ٨٠ الى ٩٦٪ من مجمل الاشعاعية في منطقة الفوهة المباشرة إما في شكل مرتبط بالمنصهر أو مترسب على السطح فوق مادة التساقط الخلفي أو الحافة. ويوزع الباقي بين السحابة الرئيسية وسحابة الجيشان القاعدي. وكلما تحركت هذه السحب في اتجاه الريح، فان محتواها الاشعاعي يستنفذ بشكل كبير بالترسيب بواسطة الجاذبية لجسيمات المادة التي يتراوح كبرها بين ٥ الى ٥٠٠ μ م. ويترسب أغلب المادة المشعة في السحب كمتساقط خارجي في داخل بضع عشرات الى مئات الكيلومترات في اتجاه الريح، تاركاً فقط نسبة مئوية صغيرة من الاحمال الأصلية للسحب للنقل على مسافات طويلة. وتتكون هذه السحب طويلة المدى من مادة سلوكها مثل الغازات، سواء من الغازات الحقيقية أو من جسيمات المادة الصغيرة جداً (ذات قطر أقل من بضع μ م) والتي تمثل فيها النويدات المشعة المتطايرة الاشعاعيات السائدة المنقولة على مسافات بعيدة.

ويتناقص تركيز الاشعاعية في الانقاض المحمولة جوا مع الوقت من خلال الترسيب والانتشار والتحلل الاشعاعي. وبالاضافة لذلك تتحرك سحابة الجيشان القاعدة مع الرياح القريبة من السطح بسرعات أصغر كثيراً على وجه العموم من رياح الارتفاعات الأعلى التي تحرك السحابة الرئيسية. وبينما تتحرك السحابة الرئيسية بسرعة أعلى فانها قد تتعرض لقص أكبر أي لرياح متحركة في اتجاهات مختلفة نازعة الى نشرها وتخفيفها وتفصل الجزء الأعلى من الجزء الأدنى للسحابة الرئيسية وسحابة الجيشان القاعدي.

وعند مدى فوق بضع مئات الى ١٠٠٠ كم يكون التساقط الخارجي لجسيمات المادة الأكبر قد اكتمل عملياً ويكون الترسيب الانتشاري لجسيمات المادة الصغيرة جداً هو الميكانيكية السائدة للترسيب الجاف للاشعاعية. ويمكن أن يزيل الاكتساح بالهطول كل أنقاض الجسيمات تقريباً من كتل الهواء التي تقابل نزول المطر أو الثلج في مسار اتجاه الريح.

ويمكن أن يحدث للجماهير في قطاع اتجاه الريح احتمال للتعرض الاشعاعي من الانغماس في السحابة المارة، مع مساهمة كل من تعرض جاما الخارجي والتعرض الداخلي الناتج من استنشاق أنقاض محمولة جواً في الجرعة السكانية. وكذلك يمكن أن تساهم النويدات المشعة المترسبة في كل من التعرضات الخارجية للجسم كله والتعرضات الداخلية للاعضاء الحرجة بالتناول خلال مجموعة منوعة من سلاسل الغذاء الملائمة. ويلزم دراسة كل من المسارات المحتملة لتعيين المسارات والنويدات المشعة الهامة بالنسبة لتطبيق الحفر المحدد موضع الاعتبار. وعلى ذلك فمن المهم بحث النويدات المشعة ذات الدلالة البيولوجية التي ينتجها تفجير للحفر.

وقد ذكرت الولايات المتحدة أنها نجحت في انقاص التسرب من تفجيرات التفويه بتصميم متفجرات ذات نسبة منخفضة من الانشطار الى الاندماج وتطوير تقنيات الموضع والتدريع خصيصاً لأغراض الحفر (٨). ويتوقع حد

أعلى لمجموع نواتج الانشطار المحمولة جواً في السحابة المشعة وفي التساقط الخارجي يعادل الاشعاعية الناتجة من متفجر انشطاري ذي ٢٠ طن وذلك بصرف النظر عن الحصيلة. ويتضح التقدم الذي تحقق من مقارنة مدى ١٠٠ كم الفعلي في اتجاه الريح لمحيط الجرعة اللانهائية ٥ر٠ رونتجين لحالة تفجير تفويه سيدان ذي ١٠٠ ك ط مع مدى ٢٥ كم الذي كان من الممكن أن يسود لو أن الأدوات والتقنيات الامريكية الحالية كانت متوفرة. وأنه ليبدو من المحتمل أن التحسينات الموجهة نحو انقاص كمية هروب الاشعاعية تقترب من حد عملي.

ولقد اختبر متفجر الحفر الامريكي الحالي حتى حصيلة ١٠٠ ك ط فقط، ولكن امتداد التصميم لمتفجرات ذات حصائل أعلى مباشر وواضح المعالم وسيكون من المطلوب فقط اختبارات للاثبات قبل استخدام مثل هذه المتفجرات في مشروع (٣٣). والمتفجر مصمم للانقاص الى أدنى حد من انتاج النويدات المشعة ذات الدلالة البيولوجية وهي تلك التي تساهم في تعرض السكان خلال مسارات مختلفة. وهذا يتطلب ضمنياً أن يكون انتاج نواتج الانشطار عند حد أدنى وكذلك النواتج المشعة في مادة المتفجر للاقلال من تأثير المواد المشعة التي تنتج من التنشيط النيوتروني للمواد المستخدمة في بناء المتفجر الى حد أدنى. ويمكن استخدام مادة تدريع سواء داخل أو خارج علبة المتفجر لانقاص التنشيط النيوتروني للصخر المحيط بالمتفجر.

وفيا يلي نويدات مشعة مختارة ذات دلالة (٣٣) يتوقع تسربها بكميات مختلفة في تفجير نووي تفويهي وتوزيعها بين التساقط الخارجي والسحابة الرئيسية والجيشان القاعدي:

أ - نواتج الانشطار مثل استرنشيوم - ٩٠، روتينيوم - ١٠٦، روتينيوم - ١٠٣، يود - ١٣١، يود - ١٣٣، سيزيوم - ١٣٧.

ب - ناتج التفاعل النووي الحراري يد[٣]

جـ ـ نواتج التنشيط لأداة المتفجر : سكانديوم ـ ٤٨ ، تنجستن ـ ١٨١ ، تنجستن ـ ١٨٥ ، تنجستن ـ ١٨٧ ، زئبق ـ ٢٠٣ ، ثاليوم ـ ٢٠٢ ، ورصاص ـ ٢٠٣ .

د ـ نواتج تنشيط التربة : صوديوم ـ ٢٤ وفسفور ـ ٣٢ .

هذا وأكثر نواتج الانشطار دلالة بالنسبة لسلسلات الغذاء المختلفة هي الاسترنشيوم ـ ٩٠ والفسفور ـ ٣٢ . ويتكون التريتيوم من التفاعلات النووية الحرارية ومن التنشيط النيوتروني لليثيوم في الصخر المحيط . والصوديوم ـ ٢٤ مساهم رئيسي في الحقل الاشعاعي الجامي في اتجاه الريح ويمكن أن يكون الفوسفور ـ ٣٢ هاما في بعض سلسلات الغذاء المائية . وبعد عام واحد من الانفجار تصبح معدلات جرعة جاما الخارجية من التساقط الخارجي أقل من ١/٢٠٠٠٠٠ تقريباً من معدلات الجرعة بعد ساعة واحدة .

ويحتاج البلوتونيوم لتعليق خاص نظراً لعمره النصفي البالغ الطول . فهو مادة منيعة جداً ويتكثف مع المادة المنصهرة ويبقى كله بجوار الفوهة مباشرة . وترتبط كميات صغيرة جداً منه بجسيمات المنصهر المتكثفة الصغيرة المحمولة في اتجاه الريح قبل الترسب . وعلى أي حال فعلى مسافات قصيرة جداً من الانفجار تكون كمية البلوتونيوم المترسب في وحدة المساحة في اتجاه الريح أقل من تلك الموجودة حالياً من التساقط الخارجي على مستوى العالم ولذلك فالأثر الكلي بعيداً عن موقع الانفجار يعتبر صغيراً . وسيتعرض البلوتونيوم المتبقي في منطقة القناة المحفورة للنظم الايكولوجية المائية في بيئة ما بعد الانفجار . وعلى ذلك فالتعرض الممكن من البلوتونيوم من المحتمل أن يكون أكبر ما يكون من خلال السمك أو الأطعمة البحرية الاخرى التي يحصل عليها من المنطقة . وقد أدت تجربة على امتصاص السمك للبلوتونيوم الى استنتاج أنه تحت أكثر الفروض محافظة فان جرعة الثلاثين عاماً المتكاملة للفرد من البلوتونيوم من خلال سلسلة الغذاء البحري من الجائز أن تكون في حدود ١٠

ميللي ريم حتى ولو كان الغذاء البحري يشكل أغلب ما يتناوله الفرد من البروتين .

ولقد أدى تطوير متفجر نووي مصمم خصيصاً لأغراض التفويه الى اقلال المشاكل المتصلة بنواتج الانشطار الى حد أدنى ، ولكنه يؤدي الى انتاج كميات هامة من التريتيوم (١٠) . ويتوقف المصير النهائي للتريتيوم بشكل كبير على الوسط الذي يحدث فيه الانفجار . ففي المناطق العالية الامطار وفي المحيط يخفض التخفيف بخار الماء المحتوي على التريتيوم سريعاً الى مستويات القدرة على الاحتمال أو أقل . وفي المناطق الجافة يلزم عمل تحليل للمصير البيئي للتريتيوم للتأكد من أن الخطر بالنسبة للانسان سيكون مقبولا . وقد يكون التطبيق المقبول في منطقة غير مقبول في منطقة أخرى . ومن حسن الحظ فان كل خبرة التفويه تقريباً كانت في مناطق ذات أمطار قليلة وتتوفر بيانات طيبة .

وعبر العشرين عاماً الماضية طورت وسائل حسابية للتنبؤ بالترسيب والمصير النهائي للنويدات المشعة المتسربة الى الجو بتفجيرات الحفر النووي لكل من أنماط التساقط الخارجي القريب وتأثيرات الانتشار طويل المدى .

وتختار ظروف الطقس للانفجار لتضع نمط التساقط الخارجي القريب داخل دهليز مقبول في اتجاه الريح (٣٣) . ويتخذ هذا الاجراء لانقاص احتياجات الاخلاء السابقة للانفجار الى حد أدنى بالاختيار الملائم للمنطقة التي ستزيد فيها الجرعات المتنبأ بها عن الخطوط الارشادية المقبولة وكذلك للاقلال من التأثير على السكان على مجرى المسار الى حد أدنى . وتستخدم بعد ذلك البيانات الجوية أو البيانات المجمعة خصيصاً للأيام المقبولة للانفجار لبناء مسارات للسحابة الرئيسية ولسحابة الجيشان القاعدي وكمعلومات داخلة لحساب النقل والانتشار والترسيب على مجرى المسارات .

وأخيراً فقد توصلت المجموعة الاستشارية المختصة للوكالة الدولية للطاقة الذرية (٩) الى الاستنتاجات التالية فيما يخص بتأثيرات الاشعاعية لتفجيرات التفويه :

أ - سيكون من الضروري أن تقاس أبعاد السحابة الناتجة من التفجير والكمية الكلية والتوزيع المكاني للمادة المشعة وكذلك التوزيع الحجمي للجسيمات المشعة بالنسبة للمواد المشعة التي تحملها جسيمات. ويجب اجراء هذه القياسات بأسرع ما يمكن بعد التفجير بالقدر الضروري لتحديث نموذج التنبؤ بالتشتت. وعلى ذلك فلا بد من قياس الكمية الكلية وتوزيع الارتفاع لعدد من النويدات ذات الخصائص التطايرية المختلفة وللنويدات الاكثر أهمية من الناحية الراديولوجية.

ب - توجد نماذج مختلفة للتنبؤ بتشتت المادة المشعة. ومن الضروري عمل تنبؤ تفصيلي بالمسافات التي يمكن أن توجد عندها جرعات ذات دلالة للأفراد. وخارج هذه المسافات فالمطلوب معلومات أقل تفصيلا ولكن يجب التنبؤ بالمسار الرئيسي لسحابة الانقاض المشعة وأبعادها الكلية في أزمان كبيرة وعلى مسافات ضخمة. وتحتاج جميع النماذج لمعلومات عن خواص الانقاض وأحوال الطقس التي تتعرض لها السحابة.

جـ - نظراً لكثرة البرامترات والشكوك الداخلة في التنبؤ بمستويات الاشعاع فان النماذج تؤدي الى تقديرات تختلف عن بعضها بشكل ذي دلالة. وتختلف هذه النماذج في الدقة التي تشرح بها القسمات المختلفة للنظام؛ وهذا يعني أنه يلزم استخدام نماذج مختلفة كما يلزم أخذ النتائج بحذر.

رابعاً - أمان المتفجرات النووية:

يلزم التأكد من أمان المتفجرات المستخدمة في مشروعات ت ن س (٩). وأنه لأمر أساسي ألا تكون هناك مضاعفات خطيرة في حالة تناول الحوادث

أثناء نقل المتفجرات من نقطة الانتاج الى موقع المشروع، وكذلك أثناء التخزين المؤقت وأثناء وضعها في الموضع واطلاقها. ويجب كذلك عمل الترتيبات الكافية للأمن الطبيعي للمتفجرات. ويلزم ان تعمل الدولة الموردة الترتيبات للاحتياط ضد أي سوء تشغيل يمكن أن يؤدي الى نتائج خطيرة.

خامساً ـ استنتاجات عامة عن الصحة والأمان:

عند هذه النقطة يشعر المؤلف أنه من المفيد جداً بهدف الوضوح أن نذكر هنا الاستنتاجات العامة حول الصحة والأمان في ت ن س والنقاط المحددة المنبعثة كما تظهر في تقرير المجموعة الاستشارية المختصة (٩) للوكالة الدولية للطاقة الذرية. وهي كما يلي:

يبدو بصفة عامة أن الاتجاهات لمشاكل تأثيرات التفجيرات النووية للأغراض السلمية على الصحة والأمان والبيئة مفهومة جيداً من وجهة النظر التقنية.

وفي نواح معينة للتفجيرات النووية للاغراض السلمية تتوفر خبرة وثيقة الصلة بها من عدد من المصادر.

والقسم الأكبر من التأثير البيئي للمشروعات الهندسية الكبرى ينبع من مقياسها وليس من الاستعمال الممكن للمتفجرات النووية للأغراض السلمية في ذاتها. والخبرة المتوفرة من كثير من المشروعات الكبرى ومن تأثيراتها البيئية وثيقة الصلة بتقييم التأثيرات البيئية للمشروعات التي قد تكون فيها المتفجرات النووية للأغراض السلمية أداة نافعة. أما المشروعات الهندسية الكبرى التي تخرج عن نطاق هذه الخبرة فيجب الاتجاه نحوها بحذر خاص.

وبالنسبة لتأثيرات الاشعاعية من التفجيرات النووية للأغراض السلمية على الصحة فانه تتوفر خبرة وفهم كبير من الاستخدامات الاخرى للمادة المشعة والاشعاع المؤين.

وان التوصيات التي نشرتها اللجنة الدولية للوقاية الراديولوجية (ل د و ر) واللوائح الوطنية الوثيقة الصلة بها فيمكن استخدامها للاسترشاد في التقدير العام والحسابي للتأثيرات الصحية .

والتعرضات الاشعاعية لجماهير كبيرة فوق الخلفيات الطبيعية هي في الواقع خبرة حديثة نسبياً للبشرية . وحيث أن التفجيرات النووية للأغراض السلمية يمكن أن تمثل مصدراً مساهماً ذات دلالة في مثل هذه التعرضات فان التأثيرات الناجمة منها على الصحة والأمان يجب تقديرها في نطاق تقييم النتائج المترتبة على التعرض الكلي للانسان للاشعاع المؤين .

وبصفة عامة يبدو أن التفجيرات النووية المحتواة للأغراض السلمية أقل اشكالاً من تفجيرات التفويه النووي للأغراض السلمية . ويظهر أن التفجيرات ذاتها لبعض التطبيقات تمثل صعوبات صغيرة فقط . ولكن الاستغلال التالي للموقع أو الموارد المتأثرة يمكن أن يكون اكثر اشكالاً . وفي بعض التطبيقات المقترحة ليس هناك خبرة متوفرة أو قابلة للتطبيق على الاطلاق ويمكن أن يتضح أن الصعوبات الحقيقية ضخمة أو غير قابلة للتخطي . والخبرة بالمنتجات الملوثة المنقولة خارج مواقع الاختبار محدودة ولكن الأساليب لتقدير مساراتها والجرعات الناتجة منها يبدو أنه من الممكن الاعتماد عليها .

وفي تفجيرات التفويه يمكن أن تشكل الفرقعة الهوائية والصدمة الأرضية مشاكل أمان هامة في منطقة التفجير . ولكن هذه المشاكل مفهومة جيداً على أي حال . ويمكن أن يكون تأثيرها على المشروعات اقتصادياً أساساً .

والاعتبار الراديولوجي الأساسي المتصل بتطبيقات التفويه السلمية للتفجيرات النووية يمكن بالطبع أن يكون التأثير المحتمل للاشعاعية المتسربة على صحة البشر وعلى النظم الايكولوجية . واذا كان من الممكن حساب مستويات التلوث الاشعاعي في المكونات المختلفة للبيئة فعندئذ تتوفر طرق لتقدير الحد الأقصى لهذا التأثير بأطراف كمية .

وتختلف نماذج حساب التشتت والمصير النهائي للاشعاعية الناتجة من تفجيرات التفويه النووي في دقتها ويجب أخذ ذلك في الاعتبار في التنبؤ بمستويات التلوث الاشعاعي .

ولقد كان هناك بعض الخبرة بمثل هذه النماذج ولو أنها كانت مقصورة على تفجيرات ذات حصائل منخفضة نسبياً والامتداد بها الى ظروف جيولوجية وهيدرولوجية وايكولوجية أخرى يمكن أن يشكل صعوبات .

والنقاط المحددة المنبعثة هي أنه من المستحسن بصفة خاصة :

أ - أن تطور حدود الثقة بالنسبة لتقديرات التأثيرات الحرجة للتفجيرات النووية للأغراض السلمية ؛ و

ب - تعيين المجالات التي لا زال من المطلوب اجراء دراسات فيها لتقييم المسارات الحرجة والتأثير الراديولوجي الكلي على الصحة . ويلزم أن تشمل هذه الدراسات جميع النويدات المشعة الناتجة من التفجيرات النووية للأغراض السلمية التي يمكن ان تساهم في هذا التأثير ؛ ويجب أن تشمل الدراسات كذلك تقييم التعهد بالجرعة الجماعية والضرر الكلي .

هذا وسنقدم معلومات اضافية عن الصحة والأمان في ت ن س مؤخراً في هذا التقرير عندما نتناول تطبيقات محددة وننصح القارىء من أجل الحصول على معرفة اضافية أن يعود الى المراجع المنشورة (٣٨ ، ٣٩ ، ٤٠ ، ٤١) .

الفصل الخامس

حول اقتصاديات تطبيقات ت ن س

إن الناحية الاقتصادية لمشروع ت ن س أحد العوامل الهامة التي يتخذ على أساسها قرار الاختيار بين ت ن س والتكنولوجيات البديلة الأخرى. ولذلك فان القاء نظرة عامة على اقتصاديات تطبيقات ت ن س أمر واضح الدلالة عند هذه المرحلة من التقرير.

وفي هذا المجال توصل م. د نورديك (١٠) الى الاستنتاجات العامة التالية:

في حالة تطبيق محتوى يجب أن تكون التكلفة منخفضة بقدر يجعلها منافسة للطرق الأخرى للقيام بنفس العمل. وتتضمن تكلفة أي تطبيق كهذا ثلاثة عوامل. الأول تكلفة المتفجر النووي واطلاقه. وعناصر التكلفة الكبرى الثانية هي تلك المتصلة بوضع المتفجر في الموضع والتزويد بساق وكابلات والمساندة بالنقل المركبي والانشاءات وعمليات الحماية. ويمكن أن تختلف هذه التكاليف بشكل واسع متوقفاً ذلك على عمق الدفن والموقع الجيولوجي وحجم ثقب الموضع المطلوب. والمجموعة الرئيسية الثالثة من التكاليف هي تلك المتصلة بالاستغلال الصناعي للمدخنة. ويدخل في ذلك الثقوب التي تحفر لاستخلاص المنتج والتجهيزات السطحية لمعالجة المنتج وتكريره والرقابة والتحكم الاشعاعيين في منشآت ازالة التلوث.

ونظراً للترابط بين انتاج الاشعاعية، وتكلفة وقطر المتفجر، والمنشآت

المطلوبة للرقابة وازالة التلوث فانه يجب بحث هذه العناصر الثلاثة للتكلفة مع بعضها لتحقيق أدنى تكلفة لتطبيق ما. وقد أجري عدد من الدراسات الاقتصادية لبعض التطبيقات المحتواة وتشير هذه الدراسات الى جاذبيتها الاقتصادية العامة (٤٢ ، ٤٣ ، ٤٤ ، ٤٥)، ولكن الخبرة قد أوضحت أنه يجب تحليل كل مشروع وفقاً لوقائع حالته الموضوعية.

ومن ناحية أخرى فان اقتصاديات كل مشروع للحفر يجب تقييمها على أساس موقع الحفر وبعده وانعزاله ووسيلة الحصول عليه وطبيعة مشاكل الأمان. ولاعطاء فكرة تقريبية عن نوع الأرقام الداخلة في ذلك، يذكر نورديك (١٠) التكاليف المقدرة لتحقيق حفر في صخر صلب في موقع يمكن الوصول اليه بشكل معقول تماماً. فعندما تقارن بتكاليف الحفر في صخر صلب بالوسائل التقليدية فانها تبين أن الحفر النووي منافس تماماً عند ١٠٠ ك ط أو أعلى حتى مع الاخذ في الاعتبار لحقيقة أن الحفر بالمتفجر النووي عادة يؤدي الى حفر حجم أكبر بعض الشيء مما لو كان الحفر تقليدياً.

ومن بين عناصر التكاليف المختلفة الداخلة في مشروع ت ن س نشرت لجنة الطاقة الذرية الامريكية تقديراً مستقبلياً للثمن المطلوب للمتفجرات النووية الحرارية (١). فالثمن المقدر مستقبلياً هو ٣٥٠٠٠٠ دولار لمتفجر نووي ذي حصيلة ١٠ ك ط و٦٠٠٠٠٠ دولار لمتفجر نووي ذي حصيلة ٢م ط. ويمكن الاستيفاء بالنسبة لحصائل أخرى على أساس خط مستقيم يرسم بين هذين الثمنين على ورقة شبه لوغاريتمية. وتغطي هذه الاثمان المواد النووية والتصنيع والتجميع والتسليح والاطلاق. والخدمات الهامة ذات الصلة والتي لا تغطيها هذه الأثمان هي دراسات الأمان واعداد الموقع بما في ذلك انشاء الثقوب ونقل الأدوات المتفجرة ووضعها في مواضعها والمساندة. وبالنسبة لمثل هذه الخدمات ذات الصلة فمن المنتظر أن يدفع المنتفع التكلفة الكاملة وفقاً لسياسة التكاليف القائمة. وتتوقف هذه التكاليف بشكل ذي دلالة على عدد

المتفجرات التي تفجر في وقت واحد.

وقد نشرت هذه الأثمان المقدرة للمستقبل للاستخدام في دراسات الجدوى والتقييمات وهي مبنية على تقدير مستقبلي عند الوقت الذي ستنتج فيه المتفجرات بكمية للاستخدام التجاري الروتيني. ورغم ذلك اعتقدت اللجنة أن هذه الأثمان المقدرة للمستقبل ممثلة بدرجة كافية للموقف في المستقبل بما يبرر استخدامها في دراسات الجدوى.

وبالنسبة للوضع الاقتصادي الفني الحالي لحقل ت ن س فان كل التطبيقات المحتملة لهذه التكنولوجيا تقريباً لا زالت في مرحلة البحث والتطوير المكثف وبدرجات مختلفة من الاقتراب من التطبيق التجاري أو البعد عنه. والاستثناء الوحيد من ذلك هو استخدام التفجيرات النووية لاطفاء حرائق آبار الغاز الذي طبق بنجاح في الاتحاد السوفييتي والذي قدم أول مشروعات ت ن س مصممة على وجه التحديد لغرض تجاري عملي (٨). وسيناقش هذا التطبيق تفصيلا فيما بعد في هذا التقرير.

وبصرف النظر عن هذه العموميات الاقتصادية فقد قدمت المجموعة الاستشارية المختصة في تقريرها الحديث (٩) الى و د ط ذ تحليلا موضوعياً وشاملا وفي نفس الوقت نقدياً لأوجه ت ن س الاقتصادية. وسنقدم هذا التحليل التوضيحي في القسم التالي من هذا الفصل. ويتفق مؤلف هذا التقرير مع هذا التحليل مع عدد قليل من التحفظات والتعليقات بالنسبة لبعض آراء المجموعة فيما يتعلق بأسعار المتفجرات النووية وهو الأمر الذي سنناقشه في مجرى التقرير.

أولاً - التحليل الاقتصادي لمشروعات ت ن س (٩):

يلزم أن يكون التقدير الاقتصادي قسماً متكاملاً في أي خطة لمشروع ت ن س. وتقييم تكاليف ت ن س ومنافعها كبديل للتقنيات التقليدية يجب

أن يستخدم منهجاً ملائماً لتقدير تطبيقات ت ن س معينة.

وان أهداف أي منهج للتقدير الاقتصادي للمزايا النسبية لمقترحات بديلة هي تعيين وتحديد كمية المكاسب والخسائر التي يمكن أن تنتج من تنفيذ كل من البدائل. وهذه المكاسب والخسائر قد لا تكون مقصورة على الجهة التي عليها أن تقوم بالعمل موضع الاعتبار كما أنها ستأخذ مجموعة متنوعة وواسعة من الأشكال. والمنهج المستخدم على أوسع نطاق لاجراء التقديرات التي تستهدف هذه الأهداف هو تحليل التكلفة والمنفعة.

ويقدم تحليل التكلفة والمنفعة منهجاً لتقدير مشروعات الاستثمار يجدر تطبيقه في مشروعات ت ن س المقترحة. وفي أوسع تنوع لتحليل التكلفة والمنفعة فان كافة التكاليف والمنافع التي يمكن تعيينها والتي تتحقق حين اجراء مشروع تدخل جميعها في التحليل. وتلك التي يمكن أن يعبر عنها بوحدات نقدية تقدر على هذا الأساس بينما قد تكون البرامترات الأخرى قابلة للقياس فقط بوحدات طبيعية أو أن تعامل فقط بطريقة وصفية.

وحينما يكون من الممكن تقدير قيمة انتاج مشروع بتقويم نقدي فانه كثيراً ما يكون من المفيد عمل ذلك. وعندئذ يكون من الممكن مقارنة هذه المنافع مع التكاليف مقومة بقيم نقدية مخصومة. ولكنه عند اجراء هذه المقارنات فانه من المهم التأكد من أن الجمهور سينظر الى المنتج على أنه مطابق في الجودة لذلك الذي يجري تسويقه عادة. فمثلا الغاز الطبيعي أو النحاس أو الزيت الذي يحتوي ولو كميات صغيرة من الاشعاعية فوق تلك الموجودة في الطبيعة قد لا يمكن تسويقه واذا أمكن تسويقه فقد لا يحصل على سعر منافس في السوق. واذا كانت الحالة الأخيرة هي التي ستحدث فيلزم استخدام سعر تقديري أقل في حساب المنفعة. وبالنسبة للبضائع التي لا تباع في السوق فقد يمكن ايجاد أساس لتقدير القيمة التي يضعها الناس للمنتج أو الخدمة واذا حدث هذا فيلزم تضمين مثل هذا التقدير.

وفي بعض الحالات على أي حال فان الغرض أو الأغراض الرئيسية للمشروع قد لا يكون من الميسور التعبير عنها بوحدات نقدية أو قد لا يكون ذلك ممكناً حتى بصعوبة. وفي مثل هذه الحالات قد يكون من الملائم استخدام تحليل التكلفة والفاعلية حيث يقدر انتاج المشروع فقط بكميات طبيعية أو حتى بتقويم وصفي. وعندئذ يمكن مقارنة المشروعات البديلة من ت ن س ومن غير ت ن س باستخدام تكاليف نقدية (وغير نقدية) ووحدات فاعلية طبيعية. وقد تقتصر مثل هذه التحليلات أحياناً على اختيار الوسيلة الأقل تكلفة لتحقيق هدف معين. وعن البديل ذي التكلفة الأدنى وهل سينفذ كمشروع أم لا فان هذا أمر يتطلب قراراً منفصلاً.

وفي كل من تحليل التكلفة والمنفعة وتحليل التكلفة والفاعلية فان ما يعتد به كمنفعة أو كتكلفة سيختلف باختلاف نظام القيمة المستخدم وقد يكون هناك اختلافات في هذا الشأن بين البلدان والنظم الاقتصادية الاجتماعية المختلفة. ورغم ذلك يبدو أن هناك قدراً أساسياً من الاجماع على المناهج التي تستخدم في تحليل المشروع في نظم كثيرة مختلفة؛ فليس هناك اختلاف بين المناهج القابلة للتطبيق في تحليل مشروع ت ن س وفي مشروع تقليدي. فتحليل التكلفة والمنفعة مطلوب في كل من الحالتين.

ونظراً لأن انتاج مشروعات ت ن س والمشروعات غير النووية قد يأخذ أشكالاً كثيرة مختلفة فانه من الصعب عمل تعميمات حول المنافع. وعلى أي حال فسيكون من المطلوب عمل تحليل منفعة مقارن في كل الحالات ويمكن عمل بعض الملحوظات العامة بالنسبة لموضوع التكلفة.

ثانياً ـ تحليل التكاليف (٩):

ان كثيراً من فئات التكلفة يمكن أن تكون مشتركة بين المشروعات التي

تستخدم ت ن س والمشروعات التقليدية البديلة. وهذه الفئات المشتركة هي ما يلي:

الفئة (١): البحث والتطوير. وهي تكاليف تطوير المعرفة المطلوب لجعل المشروع صالحاً اقتصادياً.

الفئة (٢): المسح الطقسي والجيولوجي والزلزالي. وبالنسبة لكثير من المشروعات من الضروري اجراء مسوح مكثفة سطحية وتحت ـ سطحية وبحوث جغرافية أخرى.

الفئة (٣): الأرض. يلزم تضمين تكلفة الأرض المستخدمة مباشرة للمشروع أو المتأثرة بوجوده.

الفئة (٤): الحفر السطحي، الفجوة تحت الأرض أو الأنشطة المتصلة بذلك. وبالنسبة للمشروعات السطحية يتضمن هذا البند من التكلفة المعدات والخدمات الخاصة المطلوبة لازالة التربة الضرورية للمشروع. وبالنسبة للمشروعات تحت الأرض فهو يتضمن معدات وخدمات التثقيب والتعدين وتكسير الصخور والعمليات الأخرى الضرورية تحت الأرض.

الفئة (٥): الانشاء. وتشمل هذه الفئة كل استثارات المنشأة المطلوبة لاتمام المشروع: الطرق، اعداد الموقع، المباني، الآبار وأنابيب المياه، الأهوسة، الخزانات، الأرصفة، قنوات تصريف المياه، الخ.

الفئة (٦): معدات أخرى. وتشمل هذه الفئة المعدات الثابتة والمتحركة متضمنة تلك الخاصة بانتاج القوى، ضغط الهواء، الرقابة، أدوات الأمان، المركبات، الاتصالات، الخ.

الفئة (٧): التدريب. قد تتطلب بعض التطبيقات تدريباً متخصصاً للعاملين في المشروع بما فيهم أولئك المستخدمون للتشغيل الروتيني.

الفئة (٨): النقل والأمن. وسيتغير هذا البند من التكلفة مع بعد

وانعزال المشروع ومع درجة الحماية المطلوبة للبنود الحرجة.

الفئة (٩): نقل أنشطة عادية الى مكان آخر وتوقفها. ويغطي هذا البند كلا من التعطيلات المؤقتة التي تحدث أثناء فترة الانشاء وكذلك النقل النهائي لمكان آخر الذي قد يكون ضرورياً.

الفئة (١٠): التنظيف وازالة الماء والخلاص من المخلفات. ستقع عادة تكاليف تحت هذا العنوان لكل أنواع المشروعات. وقد تكون ازالة المياه متطلباً هاماً لكثير من التطبيقات تحت الأرض.

الفئة (١١): التأمين والتعويض عن الضرر. يمكن أن يغطي التأمين الأخطار العادية للمشروع. أما الاخطار الشاذة غير المغطاة بالتأمين فانها قد تؤدي الى تعويض اضافي عن الضرر.

الفئة (١٢): ادخال احتياطيات الطوارىء والتأخيرات في الاعتبار. فالتأخيرات تتوقع في أي مشروع. وهي ولو أنها قد يكون من غير الممكن التنبؤ بها بالتفصيل الا أنه يمكن تقديرها بصفة عامة وادخالها في تقديرات تكاليف المشروع. ومن بين الأسباب الكثيرة للتأخر من الممكن أن تكون الحاجة للامتثال للوائح الوطنية أو الاتفاقيات الدولية. ويتوقف أثر التأخيرات على المدى الذي يمكن به عمل الخطط للتعامل معها وعلى حجم التأخيرات الذي تحدث بعد أن يكون قد تم انفاق مصروفات كبيرة بالفعل.

الفئة (١٣): تكاليف التشغيل. وهي تكاليف الصيانة، المعدات، الاستبدال، والقوة البشرية على مدى عمر المشروع.

الفئة (١٤): التكاليف الادارية وغير المباشرة. ويشمل هذا البند تكلفة العمالة الاشرافية، التخطيط، الخدمات القانونية، والتكاليف الاخرى غير المباشرة.

الفئة (١٥): التمشي مع الالتزامات الدولية. وقد تكون هناك مقتضيات

دولية تتطلب تكاليف تقع لأغراض الرقابة، الضمانات، متطلبات الأمن، أو لأي وظائف أخرى. وتظهر تكاليف مواجهة هذه الالتزامات عادة تحت عناوين التكلفة الأخرى.

ثالثاً - بنود التكلفة ذات الأهمية الخاصة لمشروعات ت ن س (٩):

بالنسبة لمشروعات ت ن س من المنتظر ان يكون العديد من فئات التكلفة ذا أهمية خاصة:

البند (١): البحث والتطوير. بالرغم من المبالغ الكبيرة التي صرفت بالفعل على بحوث ت ن س لا زالت عوامل كثيرة غير معروفة في حالة كثيرة من التطبيقات. وأنواع البحث والتطوير وثيقة الصلة بذلك هي (أ) العمل المتصل بمتفجرات نووية خاصة مصممة لاستخدام في تطبيقات معينة و(ب) تطوير تطبيقات معينة لاثبات الجدوى التقنية والاقتصادية. ويمكن أن تكون التكاليف كبيرة جداً. ويثار سؤال بالنسبة لتكاليف البحث والتطوير وهو تسعير المتفجرات النووية. فتحت المادة الخامسة من م م أ فان المنافع المحتملة من ت ن س يلزم توفيرها للدول غير المالكة للأسلحة النووية الاطراف في م م أ على أساس من عدم التمييز ويلزم أن يكون ثمن المتفجر منخفضاً الى الحد الممكن وأن يستبعد منه أي تكلفة للبحث والتطوير. ولا زال باقياً دون اجابة السؤال عن ما هي أنشطة تطوير المتفجر التي يمكن أن تعرف على أنها بحث وتطوير تحت المادة الخامسة.

وان مؤلف هذا التقرير لا يتفق مع هذه الملحوظة الأخيرة للمجموعة الاستشارية المختصة. ففي رأينا أن ما تقتضيه م م أ في هذا الشأن واضح ومحدد ويشمل كل أنواع تطوير المتفجر دون أية تفرقة بين التطوير لتطبيقات عسكرية أو سلمية ودون أي تصنيف من أي نوع لأنشطة تطوير المتفجر. فتكلفة المتفجر وفقاً لما تقتضيه م م أ يجب أن تكون التكلفة التجارية فوق

خط الانتاج مستبعداً منها أي ثمن لأي نوع من البحث والتطوير ويلزم في نفس الوقت أن تكون منخفضة بقدر ما يمكن.

البنـد (٢): المسح الطقسي والجيولوجي والزلزالي. فـاذا استخـدمـت ت ن س فان احتمال التساقط الخارجي الاشعاعي وتلوث الطبقات الصخرية المائية والتأثيرات الزلزالية سيتطلب دراسات طقسية وتحت أرضية وزلزالية مكثفة أكثر منها في المشروعات التقليدية.

البند (٣): في بعض تطبيقات ت ن س قد تحجز أرض اضافية للسماح بالحواف والمقذوفات. والحجر المؤقت لمساحات كبيرة قد يحتاج اليه لحسن مواجهة الفرقعة الهوائية والتأثيرات الزلزالية.

البند (٤): الحفر السطحي، الفجوة تحت الأرضية والأنشطة المتصلة بذلك. ففي حالة استخدام ت ن س تكون البنود التالية ذات أهمية خاصة:

أ - المتفجرات. ستتوقف تكلفة المتفجرات النووية على المدى الذي تكون قد كيفت به خصيصاً لانقاص النواتج المشعة غير المرغوبة وعلى القيود الهندسية (مثلا، الحاجة للملاءمة داخل أنبوبة بئر ضيقة) ونوع المادة الانشطارية المستخدمة ومرتبتها وكمية المتفجر المنتجة. ومن الصعب الحصول على تقديرات يعتمد عليها لأسعار المتفجرات. فالأسعار الوحيدة التي يستشهد بها حتى الآن لمتفجرات نووية حرارية وخدمات التسليح والاطلاق المتصلة بها؛ وقد نشرت لجنة الطاقة الذرية الامريكية ارشاداً لمثل هذه الأسعار في عام ١٩٦٤.

ولقد سبقت الاشارة في هذا التقرير الى هذه الأسعار التي قدرتها لجنة الطاقة الذرية الامريكية للمستقبل. وان كاتب هذا التقرير يلاحظ أن تقديرات الاسعار هذه قد بنيت على أساس التقدير المستقبلي عند وقت ستنتج فيه المتفجرات بكمية للاستخدام التجاري

الروتيني. واذا كانت اعتبارات تكاليف الانتاج قد انحرفت في بعض الأوجه عن تلك المتنبأ بها في هذه التقديرات المستقبلية فانه من المأمول أن تقوم الدول المالكة للأسلحة النووية وخاصة الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي باعطاء تقديرات مستقبلية أكثر استقراراً مع استبعاد أي تكاليف لأي جهد بحث أو تطوير في الماضي أو المستقبل، حتى يمكن أن تقف دراسات الجدوى على أرضيات أكثر ثبوتاً. وانه لمن المأمول ألا تنحرف هذه الأسعار كثيراً عن تلك التي سبق اعلانها؛

ب - الأنشطة المرتبطة باطلاق المتفجر. وتشمل الخدمات المتصلة بالمتفجر النووي (أولاً) خدمات الحراسة والأمن، و(ثانياً) العمالة التقنية وبعض المعدات لوضع المتفجر في موضعه، التزويد بالساق، الرقابة، وتسليح واطلاق المتفجر. وقد تتضمن الأنشطة الأخرى الدخول ثانية في الآبار، تقييم المخاطر، ورقابة وتوثيق الاشعاعية. وتكاليف كل من هذه الأنشطة ستتوقف على الظروف المحدودة؛ و

جـ - حفر تقليدي اضافي. فيجدر ملاحظة أن مشروعات الحفر بواسطة ت ن س من المنتظر أن تتطلب كميات اضافية كبيرة من الحفر التقليدي.

البند (٥): النقل والأمن. من المنتظر أن تكون هذه فئة تكلفة هامة لتطبيقات ت ن س نظراً للحاجة الى درجة عالية للغاية من الحماية للمتفجرات النووية.

البند (٦): نقل أنشطة عادية الى مكان آخر وتوقفها. ومن المنتظر بالنسبة لمشروعات ت ن س أن تكون كل من عمليات النقل المؤقت والدائم أكبر منها بالنسبة للمشروعات التقليدية.

البند (٧): التنظيف وازالة الماء والخلاص من المخلفات. وهذه ذات أهمية خاصة في مشروعات ت ن س. فقد يلزم أن تغسل النواتج المشعة بماء متدفق وقد تكون هناك حاجة لتأخيرات للسماح للنواتج القصيرة العمر

بالتحلل وقد يكون من اللازم ازالة المخلفات ، أي الماء المحتوي على تريتيوم ، ربما بكميات كبيرة . (وكبديل قد يحتاج الى جهد مكثف لازالة الماء لتجنب ضرورة التخلص من الماء المحتوي على التريتيوم) .

البند (٨) : التأمين والتعويض عن الضرر . ويمكن أن يكون هذا بنداً ذا دلالة خاصة في تطبيقات ت ن س . أي أنه قد توجد دعاوى كثيرة بالتعويض عن التلوث الاشعاعي أو الضرر الزلزالي .

البند (٩) : ادخال احتياطيات الطوارىء والتأخيرات في الاعتبار . فالتأخيرات الناتجة عن التقاضي واللوائح والنظم والمفاوضات الدولية قد تقاس بالسنين لمشروعات ت ن س .

رابعاً ـ قيود الطريقة (٩) :

ان المنهجية المذكورة أعلاه تكون عادة ملائمة للتقييم الاقتصادي لمشروع ت ن س مقترح . ولكن توجد قيود شديدة على استخدامها حالياً .

(١) هناك فقر في المعلومات عن الأوجه التقنية والصحة والأمان والنواحي الاقتصادية . ولا يمكن أن يكون التحليل أفضل من البيانات التي يبنى عليها والبيانات التي يعتمد عليها لتطبيقات ت ن س ضئيلة . وهذا يعني أنه يلزم التشكك في التعميات عن فوائد ت ن س ؛ يجب أن يكون التحليل لمشروع محدد . فانه فقط عندما تحلل تفاصيل مشروع محدد ومعتزم يكون من الممكن اجراء تقييم بأي قدر من الثقة .

(٢) ان مشروعات الاستثمار التي تستخدم تكنولوجيا جديدة كثيراً ما تكون عرضة لشكوك كبيرة وتطبيقات ت ن س ليست استثناءً من ذلك . وبالاضافة لذلك فعلاوة على الشكوك في تقدير التكاليف والمنافع يوجد اتجاه ملحوظ كثيراً في المشروعات الكبيرة للاقلال في تقدير التكاليف والمبالغة في تقدير المنافع . وعلى أي حال فان هناك تقنيات ثابتة جيداً

للتعامل مع هذه الشكوك وهذا الاتجاه ولو أنها ليست بالغة حد الكمال بأي حال عند تطبيقها. وتشمل هذه التقنيات استخدام الحساسية ونقطة الاتزان وتحليل فورتيوري. ويمكن أن تؤدي المراجعة واعادة التحليل بواسطة مجموعات محللين مستقلة كثيراً الى اكتشاف نقاط ضعف وأن تساعد في تصحيحها.

(٣) انه ولو أن كافة مشروعات الانشاء الكبيرة تكون عرضة لشكوك فان هناك بعضاً منها ذا أهمية خاصة لمشروعات ت ن س. وهي تشمل امكان الفشل في التنبؤ بدقة بتأثيرات التفجيرات؛ مخاطر على الصحة والأمان للناس من التلوث الاشعاعي للجو أو الأرض أو الماء أو المنتجات التي تنتج بواسطة ت ن س مثل الغاز أو النحاس؛ الضرر الزلزالي للانشاءات؛ الضرر للبيئة الطبيعية؛ الحوادث النووية أو السرقة؛ تجاوزات التكلفة؛ والفشل في تنمية الطلب على خدمات المشروع.

(٤) وهناك شكوك متعلقة بالمعدل الذي يمكن أن تتقدم به تقنيات ت ن س ومستوى الفاعلية الذي يمكن أن تصل اليه. وهذه الشكوك تؤثر في التنبؤ بالسوق الذي تتطلبه الطريقة. وعلى سبيل المثال فانه اذا تحقق تقدم تكنولوجي رئيسي فقد يرتفع حجم السوق الفعال ذاته فوق كل التوقعات؛ ولقد كانت هناك أمثلة قليلة من هذا النوع في تاريخ التكنولوجيا (مثلا شق الانفاق). ولكن لا يوجد دليل يوحي بأن مثل هذا التقدم في التكنولوجيات التقليدية أمر متوقع أو أن تقنيات ت ن س ستحقق خطوة كهذه الى الامام.

(٥) في بعض الحالات من الممكن أن تقدم ت ن س الحل العملي الوحيد لمشاكل معينة. وفي مثل هذه الحالات يجب أن يتجه التحليل الاقتصادي نحو الآثار المترتبة اذا لم تعالج هذه المسائل على الاطلاق.

(٦) وفي حالات أخرى حيث قد يكون من الممكن الحصول على بعض الموارد

الطبيعية فقط بواسطة ت ن س فيمكن أن يقتصر التحليل الاقتصادي على تقدير التكلفة المقارنة لترك هذه الموارد في الأرض وللحصول على مصادر بديلة من مكان آخر في نفس البلد أو كواردات من بلد آخر. وعلى ذلك فالطريقة غير ملائمة اذا كان أرخص مصدر حالي غير مرغوب فيه بالضرورة لأسباب أخرى مثل الاكتفاء الذاتي الوطني أو المحافظة على الموارد.

(٧) ان قياس وتقسيم التكاليف (بما فيها المخاطر) والمنافع (بما فيها التغيرات في أنماط التجارة) التي ستؤثر على بلدان مجاورة عندما يقع ت ن س في بلد مضيف أمر صعب ومشكوك فيه بصفة خاصة.

(٨) قد تتوزع التكاليف والمنافع بشكل واسع في المكان والزمان كنتيجة لمشروع معين.

فمن الواضح أن التقدير الاقتصادي عرضة لكثير من الشكوك التي يمكن ازالتها فقط حينما يكون مشروع محدد (في وقت ومكان معينين) موضع النظر. والمنهجية المتوفرة حالياً لها عدد من القيود الحادة ولكن هذه القيود يمكن ازالتها في أغلب الحالات عندما تتوفر بيانات أكثر. ويجدر استخدام هذه المنهجية حينما يصل أي مشروع الى مرحلة متقدمة بقدر مناسب من الدراسة؛ ويلزم تطويرها في ضوء مثل هذه الخبرة من استخدامها.

خامسا - الوضع الاقتصادي الحالي لتطبيقات ت ن س (٩).

نظراً للأسباب السابق ذكرها لم يكن من الممكن تطبيق الطريقة لتقيم الوضع التنافسي الاقتصادي لتطبيقات ت ن س المختلفة متميزاً عن مشروعات ت ن س محددة. ولذلك فقد اقتصر تقيم ت ن س الاقتصادي على جمع البيانات عن الوضع الاقتصادي والتوقعات الاقتصادية من ت ن س والتي أدرجت فيما بعد في تطبيقات ت ن س المحددة. وتوضح هذه البيانات أن

ت ن س لا زال في مرحلة مبكرة من التطوير . وفي بعض التطبيقات قد يثبت في مجرى العمل أنها ذات قيمة فريدة ولكن لم يصل للآن تطبيق من هذا القبيل الى مرحلة يمكن عندها اخضاع المشروعات للتحليل الاقتصادي على أساس الخطوط المذكورة أعلاه .

وفي مثل هذا الموقف فان أفضل وسيلة لتحسين فهمنا للأوجه الاقتصادية قد تكون باستخدام الطريقة الاقتصادية المشروحة في هذا التقرير لتقدير مشروعات ت ن س فعلية . وسيكون المد ببيانات ملائمة متطلباً مسبقاً أساسياً في جميع الحالات .

وان أي تقدير اقتصادي يستخدم البيانات الحالية لا يمكن أن يتنبأ بمنجزات التقدم غير المعروفة في المستقبل في ت ن س والتكنولوجيا البديلة والتي يمكن أن تغير أوضاعها التنافسية . وقد أوضحت التفجيرات نصف الصناعية بالفعل أن خصائص وحالة احجام الصخر الكبير المتاخمة للشحنة تتغير بشكل كبير بالتفجيرات النووية تحت الأرضية عند عمق كبير . وعلى أي حال فليس من الممكن التنبؤ في الوقت الحالي عن أي تكنولوجيات ، ت ن س أو بدائلها ، سيتم فعلا تطويرها لاستخلاص المواد الأولية ومصادر الطاقة الواقعة عند أعماق كبيرة . ولذلك يجب التزام الحيطة في الوصول الى استنتاجات مبنية على البيانات الحالية فيما يخص الجدوى الاقتصادية للتكنولوجيات الممكنة في المستقبل . وان الارتفاعات في الأسعار الفعلية للمعادن في المستقبل قد تغير أساس الاختيار بين الاختيارات التكنولوجية . ويلزم في كل الاوقات اعطاء الوزن الكافي لكل من الموقف الشامل المتصل بالتفجيرات النووية للأغراض السلمية والمزايا البيئية لاستخدام ت ن س وأي تكنولوجيات بديلة .

هذا وستظهر مناقشة اضافية لاقتصاديات تطبيقات ت ن س في الفصول المتبقية من هذا التقرير والتي تتناول تطبيقات ت ن س محددة .

الفصل السادس

التطبيقات المحتواة

اننا سوف نقوم كما سبق ذكره بدراسة مشروعات لتطبيقات محددة تحت ثلاث مجموعات وهي التطبيقات المحتواة وتطبيقات التفويه والتطبيقات العلمية. وتشمل التطبيقات المحتواة: تحفيز الغاز، تحفيز الزيت، سد آبار الغاز والزيت الشاردة، تخزين الايدروكربون السائل، تخزين الغاز، انتاج الزيت من الطفل، اذابة خام النحاس، والتخلص من المخلفات المشعة وتطبيقات أخرى.

وسوف نناقش في هذا الفصل كلا من التطبيقات المحتواة.

أولا - تحفيز الغاز

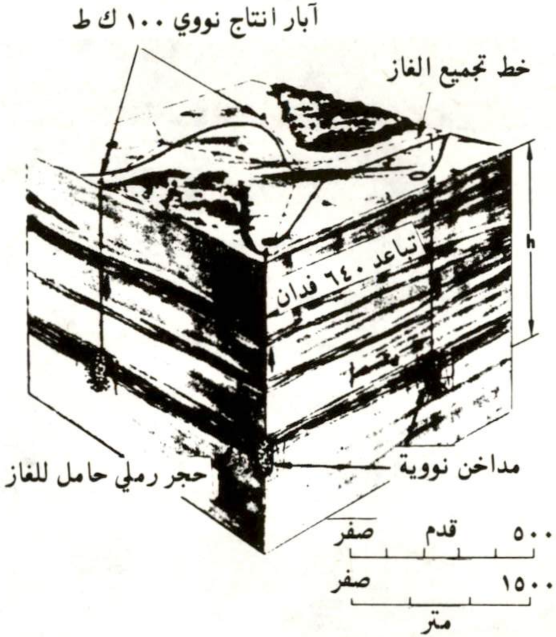
يعتبر تحفيز الغاز واحدا من الموضوعات التي أجريت عليها أكثر الدراسات كثافة في مجال ت ن س وتغطي مراجع منشورة واسعة هذا التطبيق المحتمل من كافة نواحيه (٨، ٩، ١٠، ٤٦ - ٥٦). ولقد أجرت الولايات المتحدة ثلاث تجارب نشرت عنها معلومات كثيرة. وهي الحدثان وحيدا الشحنة جاسبجى وروليسون والحدث ثلاثي الشحنة ريوبلانكو. وقد ذكر الاتحاد السوفييتي (٩) عن اجراء تجربة لتحفيز الغاز ولو أنه لم ينشر أي نتائج عنها؛ كما وصفوا تجربة حقلية مقترحة تدعو لاستخدام ثلاثة تفجيرات نووية كل منها ٤٠ ك ط عند عمق ١٦٠٠ متر في خزان غاز متكثف براسب كربوناتي في سلسلة صخرية قرب سطح الماء. وقد ظهر اهتمام في مصر بدراسة

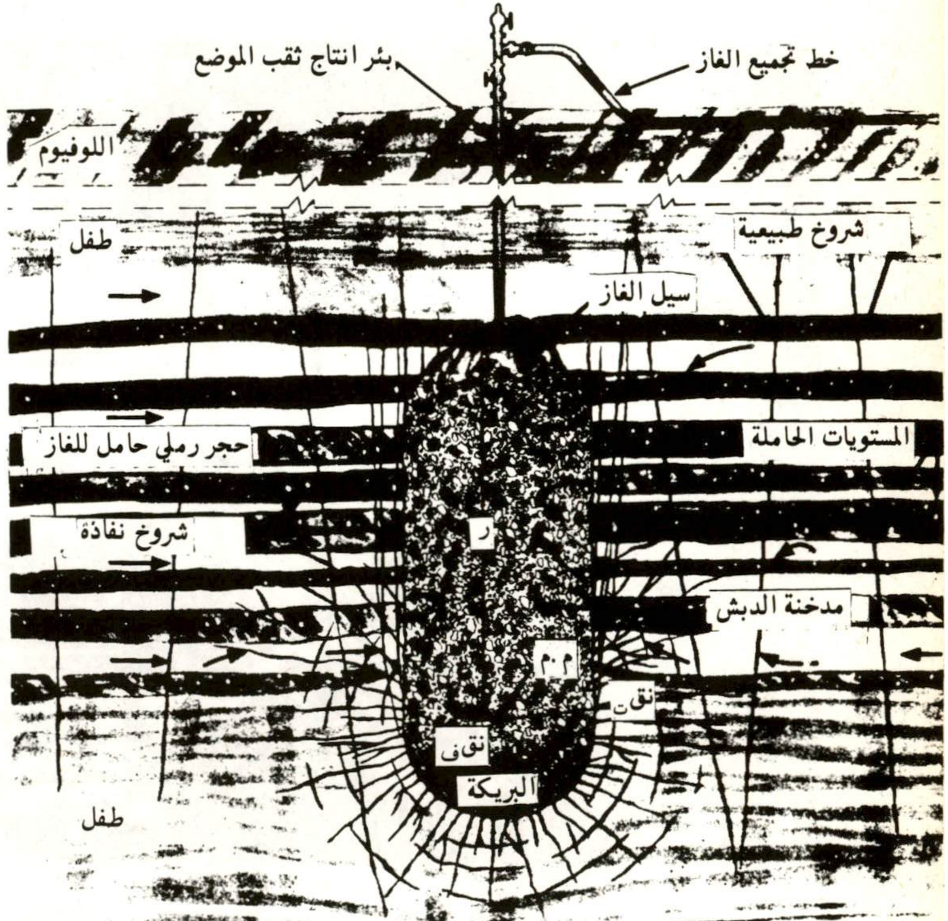
احتمالات هذا التطبيق لتنمية انتاج الغاز الطبيعي في الصحراء الغربية (٥٥ ، ٥٦). وبالتالي فسوف نذكر بقدر من التفصيل الاحداث الامريكية الثلاثة كممثل للأنشطة في حقل تحفيز الغاز وللجهد الكبير المطلوب لأي تطبيق ت ن س آخر. وفي الواقع يعتبر تحفيز انتاج الغاز الطبيعي من الخزانات ذات المسامية المنخفضة الأقرب الى الاستخدام التجاري من بين كل تطبيقات ت ن س تحت الأرض سواء الهندسية أو الصناعية التي جرت دراستها في الولايات المتحدة.

ان تصور تحفيز الغاز بواسطة ت ن س يمكن تلخيصه فيما يلي استناداً الى م. د. نورديك (٤٧).

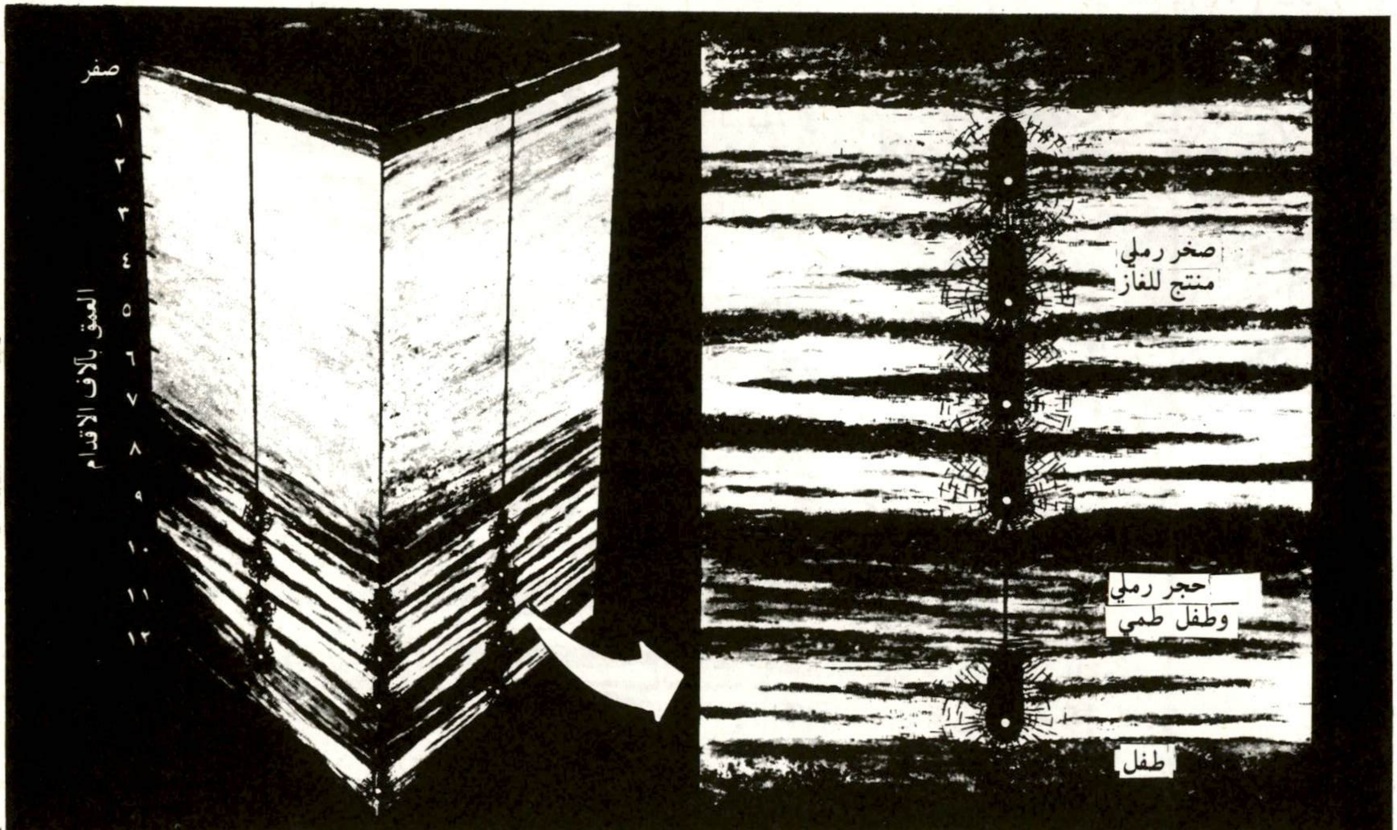
من المعروف أنه توجد كميات كبيرة من الغاز في خزانات منخفضة المسامية. ويوجد الغاز في المسام ولكن المسام تتصل ببعضها بدرجة ضئيلة جداً ولا ينساب الغاز الى أي بئر بسرعة كافية لسداد الاستثمار في البئر. ويحدث انفجار متفجر نووي في مثل هذا الحقل منطقة ضخمة جداً ذات مسامية مرتفعة يمكن اعتبارها كاتساع كبير لتجويف البئر لسحب الغاز من التكوين. وأنه ولو أنه يلزم تقييم اقتصاديات كل حالة على حدة الا أن الميزة الكبرى لتحفيز الغاز توجد للخزانات العميقة والتي تكون ضغوط الغاز فيها عالية وتكون القطاعات الحاوية للغاز سميكة (>٣٠٠ م) الأمر الذي يدعو لاستخدام متفجرات متعددة توضع في ثقب حفر واحد.

ويمثل الشكل (٩) هذا التطبيق باستخدام متفجر وحيد الشحنة في ثقب حفر. ويوضح شكل (١٠) التصور الحالي للتحفيز النووي للغاز باستخدام متفجرات متعددة في خزان غاز سميك وعميق وضع نموذجه على أساس حوض نهر جرين في ويومنج. وينتج كل متفجر منطقة من الصخر المحطم، والمدخنة، ونظام تشريخ محيط بالمدخنة ومتصل بها. ويفترض هذا التصور أن ثقب موضع التفجير سيدخل فيه ثانية بعد الانفجار وسيستخدم في





شكل (٩) تحفيز خزان الغاز:
الغاز م.م = مكان المتفجر،
$نق_{ف}$ = نصف قطر الفجوة،
$نق_{ت}$ = نصف قطر التشريخ،
$نق_{ص}$ = نصف قطر الصرف،
ر = ارتفاع المدخنة،
ع = عمق الدفن (١٠).



شكل (١٠) تحفيز خزان الغاز باستخدام متفجرات متعددة الشحنات (٤٧).

انتاج الغاز. ويجب أن يختار عدد المتفجرات وحصائلها والتباعد بينها بحيث (أ) أن يحفز أقصى سمك ممكن من قطاع الغاز، (ب) ألا تتعدى الحصيلة القصوى «الحد الزلزالي» للمنطقة موضع الاعتبار، (جـ) أن تنخفض التكلفة الكلية الى الحد الأدنى، (د) أن تتصل المداخن فيما بينها بواسطة الشروخ المتقاطعة؛ أو كبديل لهذا أن تخترع طريقة للمحافظة على ثقب الموضع مفتوحاً بين المداخن.

وبينما يبدو من الواضح أن متفجرات متعددة سوف تكون مطلوبة فانه سيمكن بحث اما الاطلاق في آن واحد بأعداد وحصائل مختلفة للمتفجرات واما الاطلاق المتتالي. وتعبير في آن واحد يعني أن جميع المتفجرات التي تساوي حصيلتها الاجمالية الحد الزلزالي تطلق في وقت قصير بالمقارنة مع الوقت المطلوب لموجة الصدمة المنبعثة بواسطة متفجر ما للوصول الى متفجر آخر. أما الاطلاق المتتالي فانه يدخل تأخيراً زمنياً بين تفجيرات في سلسلة يكون طويلا بالقدر الكافي لمنع الاشارات الزلزالية من الاضافة لبعضها البعض في المنطقة ذات الاهتمام بالنسبة للضرر الزلزالي (ربما ٥ دقائق). ويمكن أن يسمح الاطلاق المتتالي طبعاً لأن يكون كل متفجر مساوياً تقريباً للحد الزلزالي.

وأنه ولو أنه تعمل حالياً بعض التقديرات الاجتهادية عن المزايا والنقائص النسبية للاطلاق في آن واحد والاطلاق المتتالي الا أن مثل هذه المقارنة لا زالت تحتاج من وجهة نظرنا الى مزيد من التقدم في مقدرتنا التنبؤية بآثار التفجير المتعدد، وفي الاعتبار الأول الى خبرة عملية أكبر وبيانات أكثر من أحداث الاطلاق في آن واحد والاطلاق المتتالي تحت ظروف مختلفة.

١ ـ الأحداث الامريكية

أ ـ حدث جاسبجي (٤٧):

لقد مول ونفذ حدث جاسبجي بالاشتراك بين الحكومة الامريكية

والصناعة. وأطلق في ١٠ ديسمبر عام ١٩٦٧ عند عمق ١٢٩٢ متراً في خزان غــاز منخفــض المساميــة في حوض سان جوان بــالقرب من فرمنجتون في نيومكسيكو. وكانت حصيلته ٢٩ ك ط. وأطلق المتفجر عند نقطة حوالي ١٢ م تحت قاع التكوين الحامل للغاز. ومسامية عينات القلب الجافة المأخوذة ١٦ر٠ ميللي دارسي وتشير بيانات بناء الضغط الى مسامية موضعية قدرها ٠١ر٠ و٠٢ر٠ ميللي دارسي. بغرض فاصل انتاجي سمكه ٧ر٤٥ م. وكان الانفجار كامل الاحتواء فيما عدا حوالي كوري واحد من اشعاعية غازية تسرب من خلال كامل التسليح والاطلاق قبل سده.

ولقد قورن الانتاج المتجمع من البئر المحفز نووياً بالانتاج المتجمع على مدى ١٠ سنوات من أقرب بئر تقليدي على بعد ١٢٦ م منه. وقد أثبت على أساس اختبار الانتاج السالف أن البئر المحفز نووياً يمكن أن ينتج ما قدره ٢٥ × ١٠^{٦} م^{٣} من الغاز في ٢٠ عاماً. وهذا يبلغ حوالي ٥ أضعاف الانتاج المقدر من البئر التقليدي في ٢٠ سنة. وعلى وجه العموم قد أشارت الحسابات الى وجود نطاق مرتفع المسامية في المنطقة بين المدخنة ونصف قطر حوالي ٧٠ م. ويتراوح متوسط المسامية في هذه المنطقة بهذه الحسابات من ٣ الى ٦ ميللي دارسي - أمتار بخلاف حسابات مشابهة لاختبارات الانتاج السابق للاطلاق التي أعطت مساميات من ٦ر٠ الى ٠ر١ ميللي دارسي - متر.

وقــد قــدر الانتــاج المستقر من البئر المحفز نوويــاً بمقــدار ٨ر٣ × ١٠^{٣} م^{٣}/ي. ومقارنة هذا المعدل بمعدلات انتاج خمس آبار قريبة (شرخت هيدروليكيا) تؤدي الى الاشارة بعامل تحفيز للبئر النووي من ٦ الى ٧. وهناك طرق عدة يمكن استخدامها لتقدير درجة التحفيز التي أحدثها تفجير جاسبجي وتشير جميعها الى عامل تحفيز في مدى يتراوح من ٥ الى ٨.

وقد أشار التحليل الكيميائي لغاز جاسبجي الى أن الخاصية غير العادية للعينات المبكرة من غاز المدخنة كانت التركيزات المرتفعة نسبياً لغازات ك أ،

ك أ$_{٢}$ ، يدم . وقد عزى هذا الى تفاعلات التحلل لمكونات الصخر عند درجات الحرارة المرتفعة. ويبدو أن التفاعل الكيميائي الرئيسي داخل غاز المدخنة خلال الشهر الاول هو تحول ك أ الى ك أ$_{٢}$ بالتفاعل مع البخار. وبالاضافة تحول بعض يد$_{٢}$ الى ميثين.

ومن ناحية أخرى كشفت الدراسات الكيميائية الاشعاعية عدداً من الحقائق الأخرى. فقد أثبت أن النظائر المشعة الغازية ذات الاهتمام هي الكربتون ـ ٨٥ والايدروجين ـ ٣ . فقد أنتج حوالي ٣٥٠ كو من الكربتون ـ ٨٥ واحتويت في غاز المدخنة. أما التريتيوم فانه ينتج بكمية أكبر (٤٨) كما أنه في بيئة تحت السطح ذات الحرارة والضغوط الضخمة فانه يمكن أن يتبادل مع ذرات أيدروجين أخرى في الماء والغاز الطبيعي والايدروكربونات الأخرى. وقد قدر وجود حوالي ٤٠٠٠٠ كو من التريتيوم (حوالي ٤ جرام) في غاز مدخنة جاسبجي ولكن من المنتظر أن يوجد نهائياً عند رأس البئر حوالي ٦٪ فقط من هذا الاجمالي.

وخلال اختبارات الانتاج طويلة المدى فان التغيير الوحيد ذي الدلالة في التركيب الكيميائي هو النقص التدريجي لكل من ك أ أو يد$_{٢}$ كلما سرى غاز جديد من التكوين الى المدخنة واختلط مع غاز المدخنة. وبالمثل فان تركيزات النويدات المشعة تنخفض نتيجة للمزج (٤٧).

وانه ولو أن نويدات مشعة أخرى غير التريتيوم والكربتون ـ ٨٥ قد اكتشفت في غاز المدخنة الا أنها كانت بمستويات غير ذات دلالة بالمقارنة مع هاتين النويدتين. والنويدة المشعة الأكثر وفرة بعدهما كانت ^{١٤}ك والتي وجد منها اجمالا حوالي ٥ر٧ كو فقط في غاز المدخنة. مع أن نظائر اليود كان من المتوقع اكتشافها في العينات المبكرة الا أن ذلك لم يحدث.

وأخيراً فان الحركة الأرضية من جاسبجي قد قيست في عدد كبير من المحطات على أبعاد تصل الى ٩٠ كم من صفر الأرض. ونظراً للطبيعة المنعزلة

لموقع جاسبجي فلقد كانت هناك دعوى زلزالية واحدة من الاطلاق.

ب ـ حدث روليسون

كان حدث روليسون ثاني تجربة أمريكية مصممة لتقديم بيانات لتقييم التحفيز النووي للغاز (٤٧). ولقد مول مشروع روليسون ونفذ بالاشتراك بين الحكومة الامريكية والصناعة. وكان الغرض من تجربة روليسون هو تحديد الاحتمال للتحفيز التجاري للتكوين الميسا فردي لحقل روليسون. ونظراً للعمق الأكبر كثيراً والطبيعة العدسية لخزان الغاز بالمقارنة بجاسبجي فان هذه التجربة تعتبر أكثر تمثيلاً للأحوال المتوقعة في الاستخدام التجاري للتحفيز النووي. وقد أطلق متفجر روليسون في ١٠ سبتمبر ١٩٦٩ عند عمق ٢٥٧٢ م في موقع حوالي ٧٥ كم شمال شرق جراند جنكشن بكولورادو. والحصيلة ولو أنه لم يجر قياسها مباشرة الا أن كافة المؤشرات تبين أنها كانت حوالي ٤٠ ك ط.

وقد أشارت القياسات الى مسامية موضعية فعالية لتكوين الميسافردي بالقرب من نقطة الانفجار قدرها حوالي ٠٠٨ر٠ ميللي دارسي.

وقد وضع المتفجر بموضع في ثقب جاف مغلف (٥٢). وقد وضعت طبقة من كربيد البورون حول الغلاف عند نقطة الموضع. وكان الهدف من ذلك هو عزل المتفجر عن النيوترونات المهدأة في الوسط المحيط وانقاص التريتيوم المتكون من تفاعل النيوترونات المنبعثة من التفجير مع الليثيوم الموجود كعنصر من شوائب ثانوية في الصخر. وان ٢٧ كج من كربيد البورون المستخدمة لم تكن كافية لمنع الأسر النيوتروني نهائياً. فحوالي ١٠٠ كج من كربيد البورون داخل نصف قطر من متر واحد حول الاداة المتفجرة يمكن أن يأسر من ٩٥٪ من النيوترونات منقصاً التريتيوم المتخلف الى عشرات قليلة من الميلليجرامات.

ولقد كان الانفجار محتوى كاملا (٤٧) ولم تهرب أي اشعاعية الى الجو.

ويبدو أن توزيع النويدات المشعة مشابه لجاسبجي عند نهاية فترة الاغلاق آخذين في الاعتبار أنه من المعتقد أنه كان يوجد حوالي جرام واحد فقط من التريتيوم في مدخنة روليسون بعد التفجير. وكذلك كانت التركيبات الكيميائية مماثلة فيما عدا أنه يوجد حوالي ٥٠٪ زيادة من ك أ٢ ويد٢ بالنسبة لكمية ك يد٤ بالمقارنة مع جاسبجي. وقد يشير هذا الى متوسط محتوى كربوناتي أعلى في الصخر بالقرب من متفجر روليسون.

وبغرض أن حصيلة المتفجر كانت ٤٠ ك ط وأن ٩٦٠ كوري من الكربتون - ٨٥ قد تركت في المدخنة في الطور الغازي فان تركيز الكربتون - ٨٥ يشير الى أن المدخنة تحتوي على أو أنها في تلامس مباشر مع ٤ر٦ × ١٠^٦ م^٣ من الغاز الطبيعي عند درجة الحرارة والضغط العياريين. وعند ضغط ٢٠٠ جوي ودرجة حرارة ١٩٠°م فان هذا يتوافق مع حجم فجوة قدره ٥ × ١٠^٤ م^٣ ونصف قطر فجوة حوالي ٢٣ م. والتركيز الكلي للتريتيوم في الغاز يعادل حوالي ١٠٪ من الكمية التي يعتقد أنها كانت موجودة في البداية. وباستخدام معادلة القياس المعروفة لنصف قطر الفجوة حصل على قيمة لنصف قطر الفجوة نق ى قدرها ٣ر٢٢ م بما يتفق مع القيمة السالفة الذكر.

أما بالنسبة للحركة الأرضية، فقد استخدم أكثر من ٤٠ محطة زلزالية في روليسون لتقديم بيانات زلزالية الى أبعاد تصل الى ٣٠٠ كم من صفر الأرض. وقد قدم ملخص عن الشكاوى أو الدعاوى عن الأضرار في الممتلكات من مشروع روليسون على الوجه التالي (٥١):

عدد الشكاوى التي استلمت	٤١٦
عدد الدعاوى الرسمية التى استلمت	٣٠١
العدد الكلي للدعاوى الرسمية التي سددت حتى يناير ١٩٧١	٢٨١

المبلغ الكلي الذي
دفع للدعاوى حتى يناير ١٩٧١ ٧٩٤٦٧ دولار أمريكي
متوسط تكلفة التسوية للدعوى الواحدة ٢٨٣ر٢ دولار أمريكي .

وعلى ذلك فان التنبؤات بالحركة الأرضية وتقديرات الأضرار التي قد تنجم عنها هامة كذلك كتكاليف . وان درجة العول على هذه التنبؤات والتقديرات حرجة بالنسبة للصلاحية الاقتصادية للهندسة النووية تحت الأرض في بعض المناطق . ومثال على الخبرة بضرر الممتلكات وتكاليف تسوية الدعاوى مأخوذ من الخبرة في مشروع روليسون يشير الى علاقة طريفة جداً :

$$\text{لو}_{١٠} \left(\frac{\text{تكلفة التسوية الكلية للمنطقة}}{\text{عدد سكان المنطقة}} \right) = \text{٢٫٦٥٥} - \text{٠٫١١٣ م}$$

حيث م هو المدى بالأميال . وان البيانات الاضافية التي سيحصل عليها من تجارب المستقبل سوف تستخدم لاختبار صحة هذا النموذج .

جـ - حدث ريوبلانكو (٥٣ ، ٥٤)

ان مشروع ريوبلانكو تجربة مشتركة بين الحكومة الأمريكية والصناعة (٥٤) في تحفيز سريان الغاز الطبيعي الممسوك بأحكام من تكوينات عميقة لم تنتج اقتصادياً حتى الآن بالطرق التقليدية المتطورة . وقد شمل طور الانفجار في التجربة الاطلاق في آن واحد لثلاثة متفجرات نووية كل منها ٣٠ ك ط في بئر واحد بفارق ١٠ ميكروثانية بين التفجيرات المتتالية وعند أعماق ١٧٨٠ م ، ١٨٩٩ م ، ٢٠٣٩ م ، في ١٧ مايو ١٩٧٣ في منطقة ريوبلانكو ، كولورادو .

وقد اقتضى تنفيذ هذا الحدث جهداً مكثفاً وخاصاً من التطوير والتخطيط والتحضير وقد قام بتقديمه و . ر . وودرف وزملاؤه (٥٣) . وقد وفر

نظام تحكيم متكامل (ن ت م) السيطرة والتحكم والرقابة على المتفجرات وأجهزة الاحساس الخاصة ببرامج الأمان. وقد تم اخلاء السكان من المنطقة المباشرة قبل الانفجار ببضع ساعات.

ولقد كان متفجر دياموند الذي استخدم في هذا الحدث مصمماً خصيصاً لتحفيز الغاز. وكان مصمماً لدرجات حرارة وضغوط أقسى كثيراً من تلك التي كانت متوقعة في ريوبلانكو. وقد سمحت خصائصه بقطر كلي أدنى (٨ر٧ بوصة) وبقدر أدنى من التريتيوم في الغاز المنتج بينما تحافظ على مدى حصيلة ملائم (٢٠ ـ ١٠٠ ك ط) للاستخدام في التطبيقات المختلفة لتحفيز الغاز.

ولأسباب تقنية وأمانية كان من المرغوب فيه معرفة ما اذا كانت المتفجرات الثلاثة قد انفجرت وأعد لتحديد ذلك قياسان. وقد بني القياس الأول على أساس حقيقة أن الاشعاع المؤين من المتفجر والذي يصطدم بالكابل من المنتظر أن يؤدي الى سريان تيار، وبالتالي ستسجل نبضة كهربائية كلما أطلق متفجر. وقد أطلقت المتفجرات بفواصل زمنية من ١٠ ميكروثانية للتأكد من أن الاشارات الناتجة من كل تفجير يمكن أن تمر من المتفجر الأعلى دون تشويش.

ولقد طور نموذج للتقييم في الوقت الحقيقي للآثار التي تنجم من التسرب غير المخطط للاشعاعية الى الجو في وقت الانفجار ولو أنه لم يكن مرجحاً وكذلك الآثار المترتبة على وجود غاز وماء مشعين أثناء اختبار الانتاج. ويمكن للنموذج أن يستوعب كل المصادر المعقولة ويحسب الآثار الناجمة على مراعي المواشي ومراكز السكان. ويمكن استخدام النموذج بعد ذلك خلال اختبار الانتاج، اذا كان ذلك ضرورياً، للتحقق من أن التسرب الاشعاعي الى الجو سيكون داخل الحدود التي افترضتها لجنة الطاقة الذرية الأمريكية.

ولقد كان من المخطط تأجيل الحفر للدخول ثانية الى المدخنة لثلاثة أشهر على الأقل بعد الانفجار للسماح للاشعاعيات قصيرة العمر بأن تنحل حتى لا

تكون مشكلة محتملة لعمليات الحفر للدخول ثانية. وكان النظير ذو الاهتمام الرئيسي هو اليود - ١٣١.

وقد نشر ج. تومان (٥٤) تقريراً عن نتائج التجربة بدءاً من الاطلاق. وبعض هذه النتائج مشار اليها هنا.

لقد كان بئر الدخول ثانية الى المدخنة العليا ينتهي عند عمق عمودي قدره ١٧٤٤ م أو ٣٥٫٧ م فوق المتفجر الاعلى. ولكن لم يلاحظ فراغ قمي لتعيين قمة المدخنة كما لم توجد أي اشارة بأن دبش المدخنة قد حفر. وبناء على ذلك توجد امكانية بأنه قد خلقت فجوة ثابتة أو فجوة ذات انهيار جزئي بارتفاع أقل من ٣٥٫٧ م. وكان من المطلوب القيام بحفر اضافي لاثبات صورة المدخنة/الفجوة العلويتين.

ولقد أوضح اختبار الانتاج الأول بوضوح أن حجم الفراغ ٢٦٩٠٠ م^{٣} المتصل ببئر الدخول ثانية كان يمثل المدخنة/الفجوة العلوية فقط.

ولم يكن ذلك متوقعاً حيث أن الفاصل ذا ١١٩ م بين المتفجرين الأعلى والأوسط كان يوفر التشابك بين منطقتي الشروخ المجزورة التي قام بحسابها ترهيون. ولقد كانت منطقة الشروخ المجزورة في روليسون كما حسبها ترهيون تتمشى مع منطقة مسامية معززة مستنبطة من محاكاة مونتان بالكمبيوتر لأداء مدخنة/خزان روليسون. وعلى ذلك كان من المعتقد أنه ستخلق مسامية رأسية كافية داخل منطقة الشروخ المجزورة لتوفر الاتصال بين المدخنة العليا والمدخنتين الأدنى. وتفترض امكانيات عديدة لانعدام الاتصال مع المدخنتين الأدنى ولكن الاثبات يتطلب في أغلب الحالات الاستكشاف بالحفر وأخذ عينات من القلب بشكل مكثف.

وتتضمن هذه الامكانيات ما يلي:

أ - تفسير طبيعي غير صحيح لفعل الصدمة المتبادل بين المتفجرات.

ب ـ الوصف غير الصحيح أو غير الملائم لخصائص الصخر واستجابته للتحميل من موجات الصدمة.

جـ ـ خلق حاجز غير نفاذ تحت التفجير أحدثه المنصهر أو تسرب الماء المتحد بواسطة التفجير أو الفيض المرن لطبقات الطفل.

د ـ حجم وضغط غير مناسبين للغاز في المدخنة الوسطى.

وان انعدام الاتصال بين مداخن ريوبلانكو قد يكون خاصية مميزة للانفجارات في آن واحد وليس للانفجارات المتتالية. وسيكون من المطلوب اجراء دراسات وفحوص اضافية لتقييم هذه الامكانيات. وان المفتاح لاحتمال تحفيز الغاز واقتصادياته يكمن في ثقب البئر الموسع الذي تخلقه التفجيرات ومدى التشريخ خارجه باستخدام التفجيرات المتتالية.

ونتيجة أخرى غير متوقعة كانت التعارض بين القيم المتنبأ بها لقدرة الخزان والقيم المثبتة له. وفي الحقيقة فان قدرة الخزان بالقرب من المتفجر العلوي تتراوح بين تقدير أدنى ٣ر١ ميللي دارسي متر وبين تقدير أعلى ٣ر٢ ميللي دارسي متر. ويجدر مقارنة هذه القيم مع ٢ر٠ ميللي دارسي متر المثبتة بواسطة نموذج المحاكاة للمدخنة/الخزان. وحيث أن كمية الغاز التي يمكن انتاجها بواسطة المدخنة العليا تتناسب طردياً مع القدرة فان انتاج الغاز من المدخنة العليا في رمال الغاز ستكون أقل بعامل ٦ الى ١٠ من التنبؤات قبل الاطلاق. وهذا يشير الى أن تقييم الاحتياطي كان مبالغاً في التفاؤل.

وقد قورن الانتاج المحسوب لمدخنة ريوبلانكو العليا بحسابات مماثلة لجاسبجي ورروليسون. ويتبين ان مدخنة ريوبلانكو العليا تنتج أكثر قليلا من روليسون بعد ٢٠ عاماً وحوالي ٢٥٪ أكثر عند ٥٠ عاماً.

وقد درس التركيب الكيميائي للغاز المنتج أثناء اختباري السحب الأول والثاني. وكان هناك تغير صغير جداً في تركيزات مكونات الغاز خلال اختبار

السحب الأول الذي أنتج حوالي ١ × ١٠^{٦} م^{٣} من الغاز الجاف. وخلال فترة الاغلاق بين اختباري السحب الأول والسحب الثاني خفف ك أ$_{٢}$ويم بتدفق الغاز الطبيعي من الخزان الى المدخنة.

وخلال الاختبار الثاني الذي أنتج ٧٦ر١ × ١٠^{٦} م^{٣} استمرت تركيزات ك أ$_{٢}$ في الانخفاض ولكن ليس بنفس معدل المكونات الكيميائية الاشعاعية للغاز. وبالقرب من نهاية اختبار الفيض الثاني حينما كان قد أنتج حوالي ٥ر٢ × ١٠^{٦} م^{٣} من غاز المدخنة ظهر أن تركيزات ك أ$_{٢}$ تزداد. وقد أثبت سميث نفس الظاهرة في أداء بئر روليسون ويرجع كميات ك أ$_{٢}$ الاضافية عند الأوقات المتأخرة وضغط غاز المدخنة المنخفض الى فوران الغاز الذائب من الماء في المدخنة. وتصرفت كثافات الأيدروجين بطريقة مشابهة.

وقد بينت الفحوص الكيميائية الاشعاعية أن الكمية المتكاملة للكربتون ـ ٨٥ المنتجة أثناء اختبارات السحب والتي تتوهج مع الغاز كانت ٧٧١ كو كما قيست في الحقل. وكانت كمية سميث المتكاملة ٧٧٥ ± ٨٠ كو التي تدل ضمناً على حصيلة متفجر قدرها ٣٤ ± ٣ ك ط بغرض انتاج ٧ر٢٢ كو/ك ط من الكربتون ـ ٨٥. وقد قدرت الكمية الاجمالية للتريتيوم في الغاز الجاف المتوهج بأجهزة حقلية على أنها حوالي ٤٨ كو مع ٤ كو اضافية تعزى الى بخار الماء المحمول في سيل الغاز. وكانت القياسات الحقلية للمحتوى الاشعاعي في الغاز الطبيعي عندما يجفف ٤١٣ ـ ٤٣٩ بيكو كوري/سم^{٣} للكربتون ـ ٨٥ وحوالي ٢٥ بيكوكوري/سم^{٣} للتريتيوم وكشف وجود الزينون ـ ١٣١ م (٥٣).

وتوحي الدراسات الامريكية الأولية بأن الاستخدام المنزلي للغاز هو أكثر مسارات التعرض دلالة ومن الممكن أن تكون الجرعة الاشعاعية لأفراد الجمهور منخفضة بشكل مقبول اذا كان تركيز التريتيوم من رتبة ١ الى ٢ بيكو كوري سم$^{-٣}$ وجرعة الاستخدام المنزلي من الكربتون ـ ٨٥ صغيرة بالمقارنة مع التريتيوم (٨). وهذا هو السبب في أن كثيراً من المؤلفين اقترحوا أن يحول

الاستخدام المبدئي (السنة الأولى) للغاز المحفز نووياً نحو الاستخدام ذي التعرض السكاني الأدنى مثل الاستخدام في انتاج القوى أو كبديل لذلك انقاص تركيز التريتيوم في الغاز الى ١ ـ ٢ بيكو كوري/سم٣ عن طريق التخفيف بالغاز الطبيعي من آبار تقليدية قريبة.

وقد أدى متفجر دياموند المصمم خصيصاً لتطبيقات تحفيز الغاز الى نقص ذي دلالة في الكمية الكلية للتريتوم المتخلف (٥٣). ولقد كان انتاج التريتيوم المقدر بجاسبجي ورروليسون وكل واحد من متفجرات ريوبلانكو ٤٠٠٠٠ و١٠٠٠٠ وأقل من ١٠٠٠ كو على التوالي. ولقد كانت ٥٪ فقط من التريتيوم الكلي محتواة في الغاز الجاف لريوبلانكو (٤٨ كو/١٠٠٠٠ كو). وهذا يتمشى مع نتائج جاسبجي ولكن ليس مع روليسون حيث يبدو أن الغاز الجاف يحتوي على حوالي ١٣٪ من التريتيوم الكلي. وليس من المعروف ما اذا كان هذا الفرق نابعاً من الشكوك في الخصائص المميزة لمتفجر روليسون أم أنه يرجع الى الفروق بين البيئات الأولية التي ينتجها كل تفجير. فلقد أنتج أكثر من ١٢٠٠٠ كو من ٣يد مع غاز روليسون.

ولقد كان متوسط تركيز التريتيوم في الماء المفصول عند رأس البئر ٧٠٠٠ بيكو كوري/سم٣ من الماء بالمقارنة مع حوالي ٤٠٠٠٠٠ بيكو كوري/سم٣ في حالة روليسون.

وقد استخدم تيلور للتنبؤ بجودة غاز ريوبلانكو نموذجاً طوره بدفورد للتنبؤ بتوزيع التريتيوم بين الزجاج والماء والغاز. واستنتج أن حوالي ٤٠٪ و٥٥٪ و٥٪ من التريتيوم من المنتظر أن تكون في المنصهر والماء والغاز على التوالي.

٢ ـ نظرة مصرية الى احتمالات تحفيز الغاز

تعالج هذه الدراسة احتمالات تحفيز الغاز الطبيعي بواسطة ت ن س في حوض أبو غراديق من بين احتمالات أخرى بحثها م. ع الجبيلي وأ. م. الشاذلي

وك . دياب (٥٥ ، ٥٦).

ويقع حوض أبو غراديق في الصحراء الغربية الشمالية ، حوالي ٢٥٠ كم غرب ـ جنوب ـ غرب القاهرة وحوالي ١٥٠ كم جنوب البحر الابيض المتوسط . وهو حتى الآن حقل الأيدروكربون ذو الأمل الأكبر في الصحراء الغربية ويغطي حوالي ٢٥٠٠ كم^{٢} . وقد لوحظت مظاهر غازية مشوقة في آبار عديدة حفرت في الحوض . ولكن امكانيات الحوض لن يمكن استغلالها الا إذا عولجت مشكلة المسامية المنخفضة للحجر الرملي الحامل للغاز في بعض أجزاء الحوض ، ويمثل هذه المشكلة حقل أبو غراديق ـ ١ . ويغطي القسم الحامل للغاز في السجل أساساً الفاصل ذا ١٧١ م بين عمقي ٣٢٢٤ م و٣٣٩٥ م الذي يوجد أعلى من تلامس الايدروكربون ـ ماء بمقدار ٩٥ م . ويتكون هذا الفاصل من حجر رملي ذي مسامية منخفضة متعاقباً مع الطفل . وقد أشارت نتائج تجربتين اجريتا على بعض فواصل الغاز في البئر الى أن انتاجية الغاز الطبيعي ٢٨ر٠ × ١٠^{٦} م^{٣} في اليوم . ويعتبر التشريخ على نطاق واسع رئيسياً لزيادة هذه الانتاجية وهو الأمر الذي قد يجعل الاستغلال أكثر صلاحية من وجهة النظر الاقتصادية . وليس من المتوقع أن يؤدي استخدام الطرق التقليدية لهذا الغرض الى نتائج ناجحة . ويرجع هذا الى أن المعالجة الحمضية لن تؤثر في الحجر الرملي والى أن التشريخ ، حيث أنه يجري على نطاق صغير ، قد يكون من الضروري اعادته بكثرة . وقد يفتح التشريخ النووي على أساس تجريبي الطريق لحل هذه المشكلة .

وان الظروف الجيولوجية للحجر الرملي الحامل للغاز مشابهة لتلك الخاصة بجاسبجي ورووليسون . ولكن هناك استثناءً ملحوظاً واحداً ، فعمق التكوين الحامل للغاز أعمق بحوالي ٧٠٠ م في أبوغراديق عنه في تجربة روليسون .

وفي ضوء هذه الحقائق فان تجربة ذات حصيلة ٤٠ ك ط جديرة بالدراسة

في تاريخ مقبل بهدف تقييم امكانيات التحفيز النووي للغاز من هذا الحوض من الحجر الرملي.

والمنطقة نائية ومعزولة عن النطاق الزلزالي النشط بالبحر الأبيض المتوسط ومن المتوقع أن يكون الضرر الزلزالي الناتج عن تفجير ما صغيراً حيث أن التجمعات ذات الحجم تقع فقط على أبعاد تزيد على ١٠٠ كم من أبوغراديق. وقد اوضحت تجربتا جاسبجي ورولیسون ان المصادر الرئيسية للتلوث الاشعاعي كانت التريتيوم والكربتون ـ ٨٥ اللذين يمكن ان يتسربا في هذه الحالة الى المياه الجوفية تحت تلامس الايدروكربون ـ ماء في ابوغراديق. ولكن المياه الجوفية في هذه الحالة ملحية ومعزولةتماماً عن أي مياه جوفية مستخدمة أو مياه النيل أو البحر الابيض المتوسط.

ويجدر ملاحظة ان هذه الدراسة هي نظرة تصورية مبكرة ذات طبيعة علمية وتعالج امكانيات مشروع وليس المشروع ذاته. فان أي مشروع كهذا يتطلب أولا أن تطور الدول المالكة للأسلحة النووية تكنولوجيا ت ن س عند مثل هذا العمق الكبير. وبالاضافة يلزم ان تثبت هذه الدول الصلاحية التقنية والاقتصادية لمثل هذا التطبيق. وزيادة على ذلك سيكون من المطلوب القيام بدراسة ما قبل الصلاحية وبجهد تجريبي وتنبؤي ضخم لكافة جوانب المشروع وآثاره وكذلك اعداد دراسة صلاحية شاملة، وذلك قبل أن يكون من الممكن فحص هذا المشروع وبدائله بواسطة أي سلطة مسؤولة.

٣ ـ تقييم تحفيز الغاز بواسطة ت ن س

في تقييم هذا التطبيق كما هو الحال بالنسبة للتطبيقات الأخرى التي سنناقشها فيما بعد سوف نرجع الى تقرير المجموعة الاستشارية المختصة (٩) حيث أنه يقدم أحدث تقييم (١٩٧٧) ولأنه بصفة عامة يقدم تقيياً موضوعياً بدرجة عالية يعكس اجماع الرأي بين مجموعة من المستشارين من دول مختلفة

نشطة في مجال ت ن س أو متصلة به بخبراتهم الواسعة واهتماماتهم واتجاهات معالجتهم المختلفة. وقد قدم التقييم التالي لتحفير الغاز (٩).

أ ـ الوضع التقني:

لقد قدم الدليل التقني على تحفيز آبار الغاز باستخدام المتفجرات النووية في ثلاث تجارب في منطقة الجبال الصخرية بالولايات المتحدة الامريكية ولكن لم يستعرض بعد تحفيز خزان غاز يحتوي على قدر كاف من الغاز يمكن أن يسمح بالاستغلال الاقتصادي.

ب ـ الشكوك التقنية:

تتضمن الشكوك الرئيسية المتصلة باستخدام المتفجرات النووية في هذا التطبيق تلك المتصلة بالخصائص المميزة للخزان غير المحفز وخاصة صفات السيل والمسامية؛ الظروف الضرورية لتحقيق اتصال المداخن في التفجيرات المتتالية في بئر، امكانية استخدام التفجيرات المتتالية في بئر واحد بتفضيل ذلك على التفجيرات في آن واحد للحد من الآثار الزلزالية؛ الخصائص المميزة للآبار المحفزة نووياً وخاصة نمط التشريخ واغلاق الشروخ (التحامها) التي تتحكم في الانتاج طويل المدى للغاز من مثل هذه الآبار؛ والتأثير على القابلية للاستغلال للمواد القريبة. وقد يمكن تحفيف الغاز الطبيعي المحفز بكميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون. وسيكون تركيز التريتيوم في الغاز على المدى الطويل صغيراً ولكن مشكوكاً فيه.

جـ ـ عوامل الموقع الخاصة:

(١) البيانات الجيولوجية التفصيلية مثل قوة الصخر وكمية الغاز الموجودة في المكان وقدرات السيل أمور لا غنى عنها في تحديد الخزان وهو الأمر الذي تتوقف عليه كل المسائل التقنية والاقتصادية للتحفيز النووي.

وليست تقنيات قياس المساميات لتكوينات الغاز المحكمة دقيقة جداً على أي حال والأخطاء حتى التافهة أو التغييرات من قسم من التكوين الى آخر قد تكون حرجة. ويلزم كذلك معرفة التركيب الكيميائي (كميات الكربونات) في التكوين حتى يمكن تقدير كميات ثاني أكسيد الكربون التي ستكون في الغاز نتيجة لتحلل صخر الكربونات بواسطة التفجير النووي. والبيانات ضرورية فيما يخص الماء المتحد في التكوينات لأن هذا عامل حرج في استخلاص الغاز من التكوينات ذات المسامية المنخفضة وكذلك فيما يخص المياه تحت السطحية عامة في المنطقة. وهذه البيانات الأخيرة ضرورية لتقدير الصلاحية والاجراءات للتخلص من المياه الحاوية للتريتيوم الناتج من التفجير النووي.

(٢) بيانات عن السكان والأنشطة (بما في ذلك الاستخلاص في المستقبل لمصادر أخرى) والانشاءات المرتبطة بها في المنطقة مطلوبة لتخطيط الوقاية الراديولوجية ولتقدير تكلفة الأثر الزلزالي بما في ذلك التوافق بين التفجيرات النووية المكررة بكثرة وبين الأنشطة الأخرى في المنطقة. ومطلوب كذلك بيانات عن أنماط استخدام الغاز وعن السكان المتأثرين لتقدير الأثر الراديولوجي لاستخدام الغاز من الآبار المحفزة نووياً.

د - معطيات الأمان:

(١) التسرب العرضي للنواتج المشعة للتفجير؛ الاحتمال منخفض جداً بتوفر دراسات جيولوجية مناسبة وتنفيذ هندسي ملائم. وعمق الدفن الذي يقتضيه موقع المصدر أكبر كثيراً من ذلك المطلوب للاحتواء. واذا حدث تسرب ضئيل لنواتج غازية للتفجير فعندئذ يتوفر قدرة استجابة عملية يكون التعرض منخفضاً جداً.

(٢) الضرر الزلزالي للانشاءات يمكن التنبؤ به بالمعرفة الملائمة للموقف

الجيولوجي وتقييم الانشاءات. ويمكن أن تكون من الآثار الزلزالية ذات دلالة في اطار الضرر المعماري للانشاءات. ويؤدي الاخلاء المؤقت للمقيمين قريباً الى استبعاد امكان الأذى للانسان.

هـ ـ المعطيات الصحية:

يمكن أن يكون التعرض الاشعاعي للجمهور بالقرب من الموقع ممكناً بتسرب الغاز أثناء عمليات الدخول ثانية للمدخنة وأثناء توهج غازات المدخنة. وتشير النماذج الحسابية لنظم افتراضية لتوزيع الغاز الى تعرضات فردية منخفضة جداً (أقل من واحد ميللي ريم في السنة) بين السكان الذين يستخدمون روتينياً الغاز الطبيعي المحفز بتفجيرات نووية سلمية حينما تستعمل متفجرات منخفضة التريتيوم.

و ـ المعطيات البيئية:

ان التأثيرات البيئية الدائمة الناتجة من انشاء وتشغيل آبار محفزة بتفجيرات نووية للأغراض السلمية لا تختلف في الأساس عن تلك الخاصة ببئر تقليدي. وقد لوحظت تأثيرات صغيرة وعابرة في الحياة النباتية والحيوانية وفي المياه السطحية وتحت السطحية. وان انتاج كميات كبيرة من المياه الحاوية للتريتيوم والتخلص منها لتتطلب عناية خاصة لتفادي ادخال هذه المادة في المحيط الحيوي. ويحتاج التأثير على احتمال الصلاحية للاستخلاص للمعادن الأخرى القريبة جداً الى تقييم قائم بذاته.

ز ـ عناصر التكلفة الرئيسية:

تقديم الخدمات المتصلة بالتفجير النووي (ينتظر أن تكون من رتبة نصف تكلفة التحفيز للبئر)؛ الحفر؛ الدخول ثانية واستكمال البئر بعد التفجير؛ تركيب منشأة معالجة الغاز؛ اجراءات الأمان؛ الضرر الزلزالي أو التأمين؛

فرق السعر عن الغاز الملوث بالاشعاعية اذا حدث شيء من ذلك؛ فاقد الدخل اذا استخدم الانتاج المبكر في انتاج القوى.

ح - بعض البدائل الاقتصادية والتقنية:

(١) التكنولوجيات:

التشريخ الهيدروليكي الضخم؛

حقن المتفجرات الكيميائية في الشروخ او استخدامها في تجويفات الثقوب.

(٢) مصادر بديلة للامداد:

احالة الفحم الى غاز؛

اثبات مصادر جديدة للغاز الطبيعي.

ط - مقارنة التكلفة مع البدائل:

يبدو من المرجح أن يثبت التشريخ الهيدروليكي الضخم (ت هـ ض) أنه ذو فاعلية تكلفة أعلى من تحفيز ت ن س. ولكن هناك شكوكاً كبيرة تتعلق بالتكلفة والفاعلية المرجحة لكل من تحفيز ت هـ ض مجرد وهم. ومن المرجح ان تكون البدائل غير انتاج الغاز من التكوينات المحكمة جداً بالتحفيزات بواسطة ت هـ ض أو ت ن س أكثر جاذبية لبعض الوقت. وان أكثر دراسات التكلفة والفاعلية شمولاً لهذه الطرق هي تلك التي أجرتها هيئة استكشاف الغاز الطبيعي بالولايات المتحدة، وتضع هذه الدراسة في الاعتبار مدى الشكوك التقنية في كل طريقة.

ي - عوامل خاصة:

ان تحفيز الغاز ذو أهمية خاصة لتلك الدول التي ارتبطت باستخدام الغاز واحتياطياتها غير ملائمة. ويتطلب كل حقل يحفز بهذه الطريقة العديد من المئات من المتفجرات النووية وقد يؤدي هذا الى مشاكل التقبل الجماهيري.

وتقيد لوائح أسعار الغاز الحكومية في بعض الحالات الاهتمام بطرق التحفيز. وان وضع حدود مسموح بها للاشعاعية في غاز السوق متطلب أساسي للاستخدام الجماهيري للغاز من الآبار المحفزة نووياً. وقد تصبح تقنيات تحفيز الغاز منافسة اذا ارتفعت أسعار الغاز مع استمرار نضوب احتياطيات الايدروكربون في العالم.

ك - الاستنتاجات:

لقد أثبتت الصلاحية التقنية للتحفيز النووي للغاز بتجارب حقلية نووية ودراسات معملية مكثفة. ولكن تحفيز تكوينات الغاز منخفضة المسامية بواسطة ت ن س لا زال بعيداً عن التطور الاقتصادي كوسيلة قابلة للتطبيق لاستخلاص الغاز.

ثانياً - تحفيز الزيت

لقد درس هذا التطبيق بتوسع في الاتحاد السوفييتي ويتوفر عدد من المراجع عنه بالروسية (٥٧ - ٦٠)، وقد ذكرت خطوط الخبرة السوفييتية في هذا الحقل أو لخصت تلك الخبرة في بعض الاستعراضات بالانجليزية (٨ - ١٠). وان هذا القسم من التقرير مبني على الخلاصات الانجليزية وعلى مناقشات الاوراق السوفييتية والاستعراضات بالانجليزية.

ان معدل سريان الزيت الى ثقب محفور خلال خزان يتوقف على قطر البئر ومسامية الصخر وضغط الدفع (٨).

وهناك تصوران مختلفان أساساً كانا موضع الاعتبار لرفع معدل استخلاص الزيت من بعض حقول الزيت (٩). ففي بعض الحقول تتميز التكوينات الحاملة للزيت بمساميات منخفضة جداً. والتصور لمثل هذه الحقول ان تستخدم المتفجرات النووية في التكوين الحامل للزيت لخلق نصف قطر للبئر أكثر

فاعلية في التكوين نظراً لأنه كلما كبر نصف قطر البئر كلما زادت كمية الزيت التي يمكن أن تسري الى البئر أثناء فترة من الزمن. وفي بعض أنواع التكوينات يمكن أن يتوافق نصف قطر البئر الاكبر هذا مع نصف قطر المدخنة الناتجة من التفجير النووي. وفي بعض أنواع التكوينات الأخرى قد يشمل نصف القطر الفعال للبئر نطاق تشريخ حول المدخنة.

وقد ينطبق التصور الآخر لتحفيز آبار الزيت على الحالات التي يكون فيها خزان للزيت مفصولا عن طبقة صخرية مائية تقع تحته بواسطة نطاق أو طبقة غير نفاذة. فاذا كان معدل استخلاص الزيت من مثل هذا الخزان قد انخفض بسبب النقص في ضغط الخزان مع سحب الزيت فقد يكون من الممكن زيادة الضغط وبالتالي معدل استخلاص الزيت باستخدام متفجرات نووية لتكسير الطبقة غير النفاذة الأمر الذي يسمح بتدفق الماء عند ضغط الخزان الاصلي.

١ ـ أحداث تحفيز الزيت السوفييتية

لقد أجريت ثلاثة تفجيرات نووية في عام ١٩٦٠ في الاتحاد السوفياتي عند واحد من الرواسب الكربوناتية العاملة ولكنها مستنفذة جزئياً (٩). وفي المرحلة الاولى أطلق متفجران نوويان ٣ر٢ كيلوطن لكل منهما على مسافة ٢٠٠ م من بعضهما ثم تلاهما اطلاق متفجر ثالث ذي ٨ كيلوطن بعد ثلاثة أشهر ونصف. وقد أجريت كل التفجيرات عند عمق حوالي ١٤٠٠ م. وقد أوضح استغلال الراسب على مدى عدة سنوات تالية أنه نظرا للتشريخ المستحث للصخر فقط ارتفع انتاج الزيت من آبار مختلفة خلال الراسب بمقدار ٢٧ الى ٦٠٪. وقد استخدم في التجربة الثانية خزان زيت في راسب كربوناتي بسلسلة صخور قرب سطح الماء عند عمق ١٠٠٠ و١٢٠٠ متر ويجري به استخلاص ثانوي بحقن الماء واستخدم تفجيران نوويان من ٨ ك ط كل منهما في تكوين حامل للماء على عمقين حوالي ٣٠ متراً تحت تلامس الزيت ـ الماء. وقد نشرت

تقارير بزيادة الانتاج من ٣٠ ـ ٦٠٪ . وقد خطط مشروع ثالث في الاتحاد السوفييتي حيث اقترح استخدام تفجيرات نووية للربط بين خزان زيت وبين نطاق ذي ضغط مائي مرتفع يقع أسفله حتى يدفع تدفق الماء الزيت الى الخارج .

وفي ورقة سوفييتية (٥٨) أعطيت أوصاف تفجيرات الاختبار في الاحداث المختلفة . وقدمت البيانات عن التركيب الجيولوجي لمنطقة الاختبار والارتفاع في استخلاص الزيت بعد التفجير وانعدام أي تعقيدات بسبب تلوث الزيت بنواتج مشعة . وقد استعرضت بعض النظم المشوقة جداً لتكثيف استغلال حقول الزيت والغاز الطبيعي بواسطة ت ن س . وفي ورقة سوفييتية اخرى (٥٧) نوقش نمطان للتطوير على أساس الأمثلة المحددة موضحاً للخصائص المميزة للرواسب ومثبتاً لفاعلية التفجيرات النووية في الارتفاع بالتنمية .

وقد عالجت ورقتان سوفييتيتان الأوجه الراديولوجية لهذا التطبيق . ففي الورقة الاولى (٥٩) يبحث المؤلف الظروف التي تؤدي الى مخاطر اشعاع من التفجيرات النووية الكاملة الاحتواء . وعين العمق الأدنى لدفن الشحنة الذي سيضمن امكان اجراء التفجير في أمان . ونوقشت مجموعة من اجراءات الاشعاع . وأعطي وصف لطريقة للتسجيل المستمر عن بعد لجرعة اشعاع جاما من الغازات المشعة بالفجوة وفي الآبار المنتجة . وقدمت نتائج الفحوص عن طبيعة تلوث الزيت . وقد لوحظ تلوث الزيت في أحد الأشكال التالية :

١ ـ نظائر السيزيوم والاسترنشيوم المحتواة في الماء المستحلب مع الزيت .

ب ـ نظائر السيزيوم ونظائر اخرى عديدة موجودة في شكل مركبات امتصاص كيميائي محتوية على الفاتينات من الزيت .

جـ ـ غازات مشعة خامة تذوب في الزيت .

وعلى أي حال فان التلوث يضمحل خلال الفترة الاولى نظراً لامتصاص السيزيوم والاسترنشيوم على صخر الخزان وانحلال الغازات المشعة الخاملة

وانتشارها خلال المستودع . وقد بين العمل التجريبي في المعمل والحقل أنه يمكن اجراء التفجيرات بأمان في خزانات الزيت .

وتصف الورقة الثانية (٦٠) توزيع النواتج المشعة المتطايرة أو النواتج ذات الأسلاف الغازية في الصخر المحطم بتفجير نووي كامل الاحتواء وان عدد مثل هذه النظائر في نطاق الشروخ والفجوة المملوءة بالدبش يتوقف لدرجة كبيرة على الوقت الذي تأخذه المدخنة للانهيار . واقترح نمط ممكن لتلوث الزيت بالنظائر المشعة وأشير الى معدل وصول هذه النواتج مع الزيت من منطقة التفجير الى الآبار المنتجة . ويتفق التركيز المحسوب للاسترنشيوم - ٨٩ والسيزيوم - ١٣٧ في الزيت مع البيانات التجريبية بشكل طيب . وتشير البيانات التجريبية الى أن قسماً معيناً (١ر٠ - ١٪) من نظائر مشعة يمر من الصخر الى الزيت عند التلامس ويتجه نحو البئر العامل من خلال الشروخ التي تكونت . وان أكبر خطر لتلوث الزيت تحدثه النظائر طويلة العمر التي لها أسلاف متطايرة وكذلك التريتيوم . وهناك طريقان يمكن بهما انقاص هذا التلوث :

أ - بزيادة نقاوة الشحنة (خاصة بالنسبة للتريتيوم) ؛
ب - بزيادة بعد الآبار العاملة عن فجوة التفجير (بـ ٥٠ - ١٠٠ م) عندما لا يوجد شروخ من تشكل الصخور .

وبالنسبة لحركة الأرض (ملخص ٤) لم تؤد التفجيرات الى أي ضرر للنظم الهندسية أو نظم الاتصالات أو الى آبار زيت أخرى عاملة ، وكانت المسافات من الآبار المحفزة ١٠٠ - ٢٠٠ م . وبالمثل لم يكن هناك أي ضرر للمباني أو الاتصالات في المنطقة القريبة وفي التجمعات والقرى فيما عدا القرى التي تقع على بعد ٥ر١ الى ٢ كم من الموقع حيث حدث بعض الضرر للمداخن .

والخلاصة فان خبرة الاتحاد السوفييتي أشارت الى الاهتمام بالآثار المحتملة

للتفجيرات النووية تحت الأرض (ملخص ٤) على أنها تعطي:

أ - حصيلة مرتفعة من الزيت من رواسب ذات حصيلة منخفضة بانقاص عدد الآبار العاملة بينما يزيد الانتاج؛

ب - الاستخلاص السهل للزيت من الرواسب بانشاء فجوات تحت الأرض؛

جـ - الاستغلال في آن واحد لرواسب متعددة المستويات باستخدام تعليب واحد لمتفجرات عديدة عند مستويات مختلفة؛

د - حصيلة من رواسب ذات ضغط منخفض باستخدام الماء ذي درجة الحرارة العالية وذي الضغط المرتفع الموجود تحت الراسب؛

هـ - حصيلة بعد استغلال ضغط راسب غازي ذي ضغط مرتفع لدفع الزيت بقوة من راسب ذي ضغط منخفض الى السطح؛

و - استغلال للزيت باغراق راسب الزيت واستخدام مرشحات منتجة اصطناعياً تحت الأرض ذات فاعلية مرتفعة.

٢ - دراسة بريطانية لتحفيز الزيت تحت قاع البحر

ناقش ك. باركر (٦١) هذه الامكانية مع غيرها كاحتالات لاستخلاص الموارد الطبيعية من تحت قاع البحر باستخدام تكنولوجيا ت ن س. ويقع عامة مدى حصيلة التفجيرات النووية السلمية للتطبيقات الصناعية بين ١ و١٠٠ ك ط - وتقدم الحصائل الأدنى مزايا قليلة فوق المصادر البديلة للطاقة. وللحصائل في هذا المدى فان تفادي الضرر الزلزالي غير المقبول يعني أنه يلزم ألا تجري التفجيرات بالقرب من المناطق الآهلة بالسكان. وتكون المواقع الملائمة عامة على بعد ١٠ كم على الأقل من المناطق المبنية حتى تلك التي لها حجم متواضع. وهذا يعني أنه في المناطق الآهلة بالسكان مثل غالبية الجزر البريطانية وغرب أوروبا واليابان والساحل البحري لشرق الولايات المتحدة فان القيود التي تفرضها اعتبارات الضرر الزلزالي يمكن تخطيها ولكن فقط

باجراء التفجيرات النووية السلمية تحت قاع البحر على مسافة من الأرض من شأنها أن تجعل الضرر الزلزالي جديراً بالاهمال. وحيث أن أكثر من ٧٠٪ من سطح الأرض مغطى بالبحار فمن الطبيعي أن يبحث أي التطبيقات يمكن رؤيتها للتفجيرات النووية السلمية تحت قاع البحر. وفي حالة ما اذا كان مثل هذه التطبيقات ستصل الى التحقيق فان هذا سيتوقف على اعتبارات تقنية وبيئية واقتصادية. وتحفيز البترول أحد المجالات التي تعتبر لمثل هذا التطبيق. وفي الحقيقة فانه في عام ١٩٧٠ كان ١٦٪ من انتاج العالم من الزيت الخام يجيء من حقول بعيدة عن الشاطىء ومن المتوقع أن ترتفع النسبة الى أكثر من ٤٠٪ في الثمانينات. وان الانتاج بعيداً عن الشاطىء صعب ومرتفع التكلفة. فالتكاليف الرأسمالية في بحر الشمال أكبر حوالي ١٠ الى ٢٠ مرة من نظيرتها في أكثر المناطق المفضلة في الأرض مثل المملكة العربية السعودية. وأغلب الانفاق الرأسمالي يذهب في الامداد بالانابيب المكلفة أو بمنصات وأرصفة الانتاج. وبالتالي فان هناك كل حافز للانتفاع لأقصى حد من هذه المنشآت وبالتالي فكل الطرق الممكنة للتحفيز الثانوي ومن الرتبة الثالثة من المرجح أن تستخدم لمد العمر الانتاجي للحقول. وعلى ذلك قد يكون هناك دور للتحفيز سواء بالوسائل النووية أو التقليدية وليس هذا مقصوراً فقط على الحقول التي كانت تنتج على مدى عدد من السنين.

ومن الواضح أن هذا التطبيق لا زال في مرحلة مبكرة جداً كفكرة تصورية.

٣ - تقييم تحفيز الزيت بواسطة ت ن س:

لقد أجري التقييم التالي لهذا التطبيق (٩).

أ - الشكوك التقنية:

ترجع الشكوك التقنية الى حقيقة أن ميكانيكيات التحفيز ليست مفهومة

جيداً وان هناك خبرة في تحفيز الزيت بواسطة ت ن س فقط بالنسبة للرواسب الكربوناتية بسلاسل الصخور قرب سطح الماء. وبالرغم من الاشارة في المراجع المنشورة الى انعدام تلوث الزيت فان الكمية غير الملائمة من البيانات التجريبية لا تسمح بتقييم آثار الاشعاع في استخدام هذا الزيت.

ب ـ العوامل الخاصة للموقع:

١ ـ البيانات التفصيلية عن الجيولوجيا والهيدرولوجيا وتاريخ الاحتياطي أساسية لتصميم أي مشروع تحفيز للزيت وتقدير صلاحيته التقنية والاقتصادية. وتتضمن هذه المعلومات بيانات عن خصائص التكوين المميزة لخزان الزيت وعن وجود وصفات التكوينات الحاملة للماء المرتبطة به. وحيث ان التصورات التي نوقشت للآن عامة تتصل بتحفيز حقول زيت منتجة فعلا وجرى تعرضها على الاقل في بعض الحالات لعمليات تحفيز تقليدي فان البيانات الضرورية تتضمن التواريخ التفصيلية لانتاج الآبار ومعلومات اضافية مثل ميكانيكية أو ميكانيكيات الانتاج في الحقل ونسب الغاز للزيت وتواريخ ضغط البئر وأي اعادة تشغيل للآبار وتفاصيل أي تحفيز تقليدي للآبار.

٢ ـ البيانات عن السكان والانشطة والانشاءات المرتبطة بها في المنطقة مطلوبة لتخطيط الوقاية الراديولوجية ولتقدير الأثر الزلزالي. وبالقدر الذي تكون التفجيرات ذات الحصائل الأدنى كافية لهذا التطبيق فان القيود الزلزالية على هذا التطبيق يمكن أن تكون أقل منها لبعض تطبيقات ت ن س الأخرى. وستكون البيانات مطلوبة كذلك عن ممارسات معالجة الزيت وأنماط استخدام منتجات الزيت لتقدير الأثر الراديولوجي لاستخدام منتجات الزيت.

جـ ـ معطيات الأمان:

١ ـ قد يحدث التسرب العرضي لنواتج من التفجير اما بسبب التنفيس الفوري أو الانهيار التالي لجمعات رؤوس الآبار على الآبار القريبة أو آبار الدخول ثانية (اذا كان ذلك منطبقاً).

٢ ـ الخطر على الافراد من الآثار الزلزالية منخفض ويتوقف ذلك على التقييد المناسب للحصيلة والانذار الملائم بوقت الاطلاق والتعليمات المناسبة للسكان المتأثرين. ويمكن التنبؤ بالضرر للمتلكات ويتوقف ذلك على المعرفة الملائمة بالجيولوجيا والمراجعة المناسبة للانشاءات.

د ـ المعطيات الصحية:

التعرض الاشعاعي للجمهور بالقرب من الموقع ممكن بتسرب الغاز أثناء عمليات الدخول ثانية للمدخنة وأي توهج لغاز المدخنة.

ويمكن أن يحدث تلوث اشعاعي للزيت بواسطة:

١ ـ التريتيوم المندمج في الأيدروكربون؛
٢ ـ الماء المساق والملوث اشعاعياً؛
٣ ـ المادة الجسيمية المساقة والمشعة.

وتشير الخبرة في الاتحاد السوفييتي الى تلوث جدير بالاهمال للزيت المستخلص من الآبار في مناطق شروخ متسعة.

هـ ـ المعطيات البيئية:

قد يحدث تلوث للبيئة المحلية بالتريتيوم من التخلص من الماء المنتج المحتوي على اشعاعيات.

و ـ عناصر التكلفة الرئيسية:

المد بالخدمات المتصلة بالمتفجر النووي؛ الحفر؛ اجراءات الامان؛ والضرر

الزلزالي أو التعويض. وقد لا يكون الحفر للدخول ثانية ضرورياً؛ وفي الخبرة حتى الآن استخدمت آبار قائمة.

ز ـ بعض البدائل الاقتصادية والتقنية:

تقنيات استخلاص مختلفة تقليدية ثانوية (بما في ذلك الحقن بالماء والغاز، الاغراق بالنار أو بالماء الساخن، التشريخ المائي ومحلول الغاز) تستخدم روتينياً بدرجات متفاوتة من النجاح.

ح ـ مقارنة التكلفة مع البدائل:

ان التكاليف وكذلك الفاعلية للطرق البديلة متباينة جداً ومتوقفة على الموقع. ولا تتوفر بيانات للتكلفة والفاعلية المقارنة عن المشروعين الموصوفين. وتحليل الولايات المتحدة لمشروع الحقل أ والمبني على بيانات الاتحاد السوفييتي بخصوص درجة التحفيز يبين أنه يمكن أن تكون التكلفة فعالة في هذا المشروع.

ط ـ عوامل خاصة:

بالرغم من أن قسماً هاماً من رواسب الزيت في العالم يمكن أن تكون مرشحات محتملة للتحفيز بواسطة ت ن س فان تقنيات أخرى أكثر تقليدية تبدو فعالة بقدر كاف، وهذه الحقيقة يبدو من المرجح أن تمنع انتشار استخدام هذه التقنية في المستقبل القريب. ويجب أخذ امكان التلوث الاشعاعي للزيت في الاعتبار عند تقدير استخدام المنتجات المكررة.

ي ـ الاستنتاجات:

أجريت تجربتان ناجحتان لتحفيز الزيت في الاتحاد السوفييتي حيث تعتبر هذه التقنية «تكنولوجيا مثبتة».

وقد يكون تحفيز الزيت تقنية ذات تكلفة فعالة في بعض الحقول على

الاقل. وميكانيكية تعزيز الاستخلاص ليست مفهومة جيداً، وهذا يحد من القدرة على التنبؤ بالنسبة لأنواع الرواسب الأخرى.

ثالثاً - سد آبار الغاز والزيت الشاردة

ان هذا هو التطبيق التجاري العملي الوحيد الذي تحقق حتى الآن في حقل ت ن س. وقد طبق بنجاح في الاتحاد السوفييتي في حالتين. ومن المؤسف ان المعلومات المتوفرة بالانجليزية محدودة جداً ولو أنها ذات دلالة كبيرة ومنورة جداً (٨، ٩). وقد نشرت ورقة سوفييتية مشوقة (٦٢) بالروسية ولكن خلاصتها والمناقشات حولها كانت بالانجليزية. وقد ألقيت الاضواء المركزة على هذه الورقة بالانجليزية (ملخص ٤).

وفيما يلي عرض للخطوط العريضة لهذا التطبيق كما تظهر في هذه المراجع.

يسد بئر شارد للزيت أو الغاز بتفجير محتوٍ تحت الأرض يضغط الثقب الجوف للبئر ويدفع المادة بالقوة من طبقة بلاستيكية مثل الطفل أو الملح إلى منطقة الثقب الجوف(٩). وإن هدف هذا التطبيق هو الحفاظ على مصادر وقوة ثمينة وإزالة المخاطر البيئية الفعلية والمحتملة.

واستخدام متفجر نووي في هذا التطبيق يقتضي حفر بئر مائل للموضع بالقرب من البئر الشارد بحيث يجيء بئر الموضع قريباً جداً، أي ٣٠ أو ٤٠ متراً من ثقب البئر الشارد في منطقة يخترق فيها البئر الشارد طبقة بلاستيكية عند عمق كاف لاحتواء ضغط التكوين للغاز أو الزيت. ويطلق متفجر نووي عند قاع بئر الموضع هذا. وعادة يكون متفجر واحد مطلوباً في كل تطبيق.

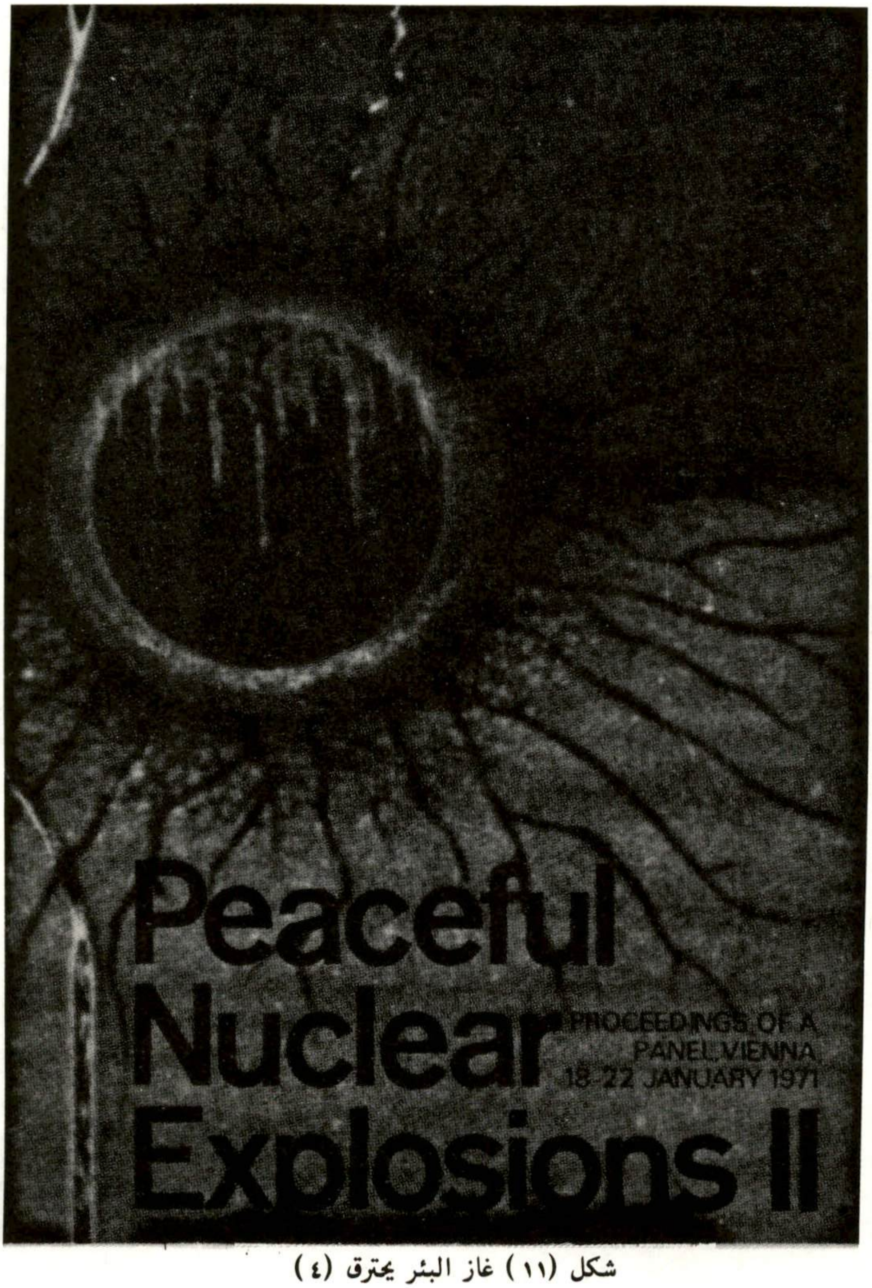
١ - الأحداث السوفييتية:

لقد أثبت هذا التطبيق تقنياً(٩). فقد استخدمت التفجيرات النووية لسد بئرين شاردين للغاز في منطقة بخارا في الاتحاد السوفييتي في سبتمبر ١٩٦٦ وفي

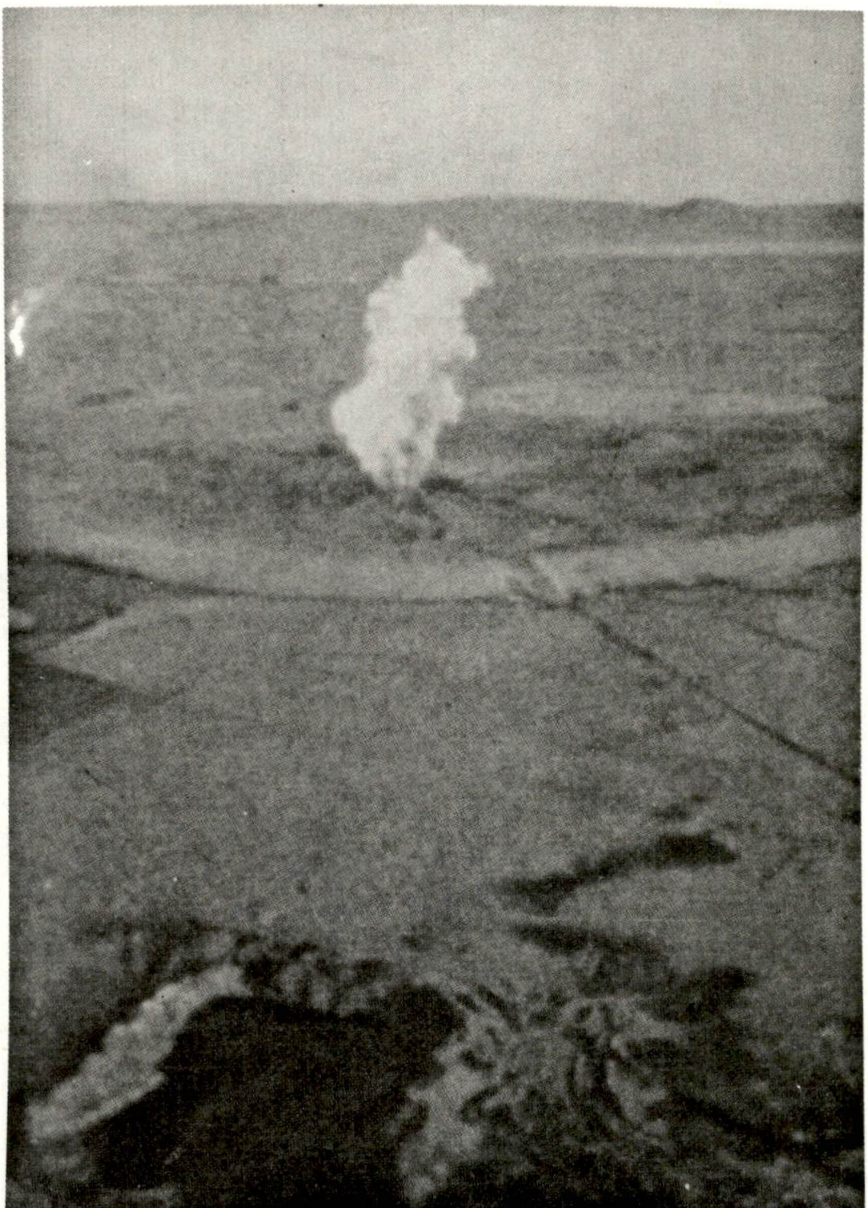
مايو ١٩٦٨ . ففي ١ ديسمبر ١٩٦٣ أثناء حفر بئر للغاز في جنوب أوزبكستان فقد التحكم في البئر عند عمق ٢٤٥٠ متراً مما أدى إلى الانطلاق غير المتحكم فيه لأكثر من ١٢ × ١٠^٦ م^٣ من الغاز يومياً . وقد عملت محاولات كثيرة غير مثمرة خلال السنوات الثلاثة التالية لتغطية البئر عند السطح أو لانقاص سيل الغاز واطفاء الحريق . فوضع متفجر نووي ذو ٣٠ ك ط في بئر مائل على نطاق من الطفل سمكه ٢٠٠ متر وعلى عمق حوالى ١٥٠٠ متر وعلى مسافة ٣٥±٥ متر من البئر الشارد وأطلق المتفجر . فانطفأ التوهج بعد ٢٥ ثانية وسد البئر بنجاح . وفي عام ١٩٦٦ كان هناك بئر شارد ثان للغاز في حقل غاز قريب يؤدي إلى فقدان ١ إلى ٥ر١ × ١٠^٦ م^٣ من الغاز يومياً . وبعد شهر ونصف أغلق هذا البئر نفسه وسد بعد ذلك بالأسمنت . ولكن الغاز ظهر فيما بعد في الآبار المحيطة وأكثر من ذلك اخترق مباشرة إلى السطح . فوضع متفجر نووي ذو ٤٠ ك ط في بئر مائل في تكوين ملحي على عمق ٢٢٤٠ متراً وعلى مسافة ٣٠±٥ متر من البئر الشارد وأطلق المتفجر . ونظراً لكمية الغاز الكبيرة التي تسربت إلى الطبقات الأعلى خلال العامين السابقين فقد استمر التوهج لمدة سبعة أيام قبل أن يموت في النهاية .

ويوضح الشكل ١١ غاز البئر يحترق بينما يبين الشكل ١٢ الحريق منطفئاً(٤) .

وتستعرض الورقة السوفييتية (٦٢) بعض أوجه هذا التطبيق . فأعطي شرح لأهم الظروف المطلوبة للاستخدام الفعال للتفجيرات للقضاء على التدفق المتفجر لآبار الأيدروكربون . وقدمت الفروض الرئيسية المستخدمة في الحسابات حول القضاء على التدفق المتفجر لآبار الايدروكربون والسيول غير المتحكم فيها ، وشرحت الميكانيكية التي يلتحم بها الانفجار . وقد كانت ميكانيكية الفعل (ملخص ٤) أن الضغوط في الصخر الحامل كبست وأغلقت بفاعلية تغليف تجويف البئر وكذلك نقلت (أزاحت) الصخر بحيث لم يبق



شكل (١١) غاز البئر يحترق (٤)



شكل (١٢) الحريق منطفىء (٤)

تجويف البئر سلبياً. وبذلك التحم تجويف البئر ولم يعد هناك مخرج للغاز إلى السطح.

وفي كلا الحدثين لم تكتشف في المنطقة أي اشعاعية أعلى من الخلفية (٨ر٩). وقد لوحظ عدد من العوامل التي ساهمت في فاعلية (ملخص ٤) هذه التقنية. ولمنع مرور أو تسرب نواتج انحلال اشعاعي إلى السطح أو إلى أي طبقة صخرية مائية مستخدمة الأمر الذي يمكن أن يؤدي بالتالي إلى ارتداد الموائع بين خزان الغاز والطبقة الصخرية المائية، فانه يكون من الضروري الاختيار الملائم للموقع ولعمق الدفن. ولقد كانت الأعماق في الحدثين السوفييتيين كما سبق ذكره ١٥٠٠ و٢٢٤٠ م من السطح. كما أنه من المرغوب فيه أن تكون الخواص الطبيعية والميكانيكية للتكوين الجيولوجي في مناطق لحام الممرات الرأسية بحيث أنه تحت تأثير التفجير يكون هناك تشوه بلاستيكي دون تأثير على المسامية. وفي كلا الحدثين السوفييتيين ضمن الأمان الراديولوجي قبل التفجير بأحكام لحام الشحنة والآبار العاملة بالقرب من نقطة التفجير، وبعد التفجير باللحام الفوري للبئر مع السطح فوق نقطة الاغلاق الناتج من التفجير.

وبالنسبة لتأثير التفجير على سلامة ثقوب ولحامات الآبار القريبة (٦٢) أجري فحص لكل الثقوب الأعمق على مدى نصف قطر ٥ر١ كم من بئر الغاز غير المتحكم فيه. ولم يكتشف أي ضرر في العناصر الانشائية لتغليف الآبار المحيطة والتي تتضمن اللحام المحكم المؤقت ضد التسرب. ولقد أعيدت كل الآبار إلى التشغيل العادي بمجرد اكمال المرحلة الرئيسية للقضاء على حريق بئر الغاز.

وفي النهاية فان هذه التقنية تتطلب ثقة هائلة في المقدرة على استبعاد أي فعل متبادل مستحث بالتفجير بين الفجوة والبئر المفتوح (٨).

٢ ـ **تقييم سد آبار الغاز والزيت الشاردة:**

لقد قدم التقييم التالي لاستخدام هذا التطبيق على وجه العموم (٩).

أ ـ الشكوك التقنية:

قد لا تكون المعرفة بالجيولوجيا عند موقع بئر شارد ملائمة. وقد يكون من الصعب تقدير المسافة الصحيحة بين نقطة التفجير والبئر الشارد بالنسبة للجيولوجيا المعنية.

ب ـ عوامل الدراسة:

١ ـ البيانات مطلوبة لتعيين الوجود عند أعماق ملائمة لأي طبقات بلاستيكية ملائمة للاغلاق، أي طفل أو ملح، وتعيين موقعها الدقيق. والمعلومات مطلوبة كذلك عن سلامة ثقب البئر الشارد للتأكد من أن اللحام يتم تحت أي كسور قائمة كي نتفادى تخطي اللحام.

٢ ـ البيانات عن الأنشطة والانشاءات والمباني في المنطقة ضرورية لتقدير الأثر الزلزالي.

جـ ـ معطيات الأمان:

هناك امكانية للتنفيس من خلال البئر الشارد. ويجب اختيار ظروف التشتت الطقسية واجراءات السيطرة على المنطقة للتعامل مع امكان تنفيس قسم رئيسي من الاشعاعية المتطايرة.

د ـ المعطيات الصحية:

لم يعين أي منها.

هـ ـ المعطيات البيئية:

إن الأثر البيئي لبئر شارد ـ اطلاق الغازات المؤذية الخ ـ يمكن أن يفوق

بشدة أي أثر بيئي ممكن من التفجير النووي.

و ـ عناصر التكلفة الرئيسية:

التكاليف الرئيسية هي الخاصة بالامداد بالمتفجر النووي ووضعه في موضعه واطلاقه؛ أعمال الموقع المطلوبة من المرجح أن تكون عند الحد الأدنى. وقد تقع تكاليف اضافية بسبب طبيعة الطوارىء الخاصة بالعملية ولكن هذا قد يحدث كذلك مع الوسائل البديلة.

ز ـ **بعض البدائل الاقتصادية والتقنية:**

لقد جرت السيطرة منذ وقت طويل على آبار البترول الشاردة بمجموعة مختلفة من الطرق شاملة التشريخ الهيدروليكي خلال تجويفات ثقوب قريبة مائلة واستخدام التفجيرات التقليدية. وتوجد صناعة صغيرة ولكنها على درجة عالية من التخصص والخبرة تتعامل مع مثل هذه المشاكل.

ح ـ مقارنة التكلفة مع البدائل:

اذا كانت الطرق البديلة المتوفرة حالياً قابلة للتطبيق فانه يبدو من المرجح أن تكون أرخص.

ط ـ عوامل خاصة:

قد تستخدم هذه الطريقة مرة أو مرتين في كل عقد على مستوى العالم. وعادة سيكون المطلوب متفجراً واحداً لكل تطبيق. ويبدو أن وقتاً ضخماً سيكون مطلوباً لاجراء سد لآبار شاردة باستخدام ت ن س.

ي ـ **الاستنتاجات:**

يجب اعتبار تطبيق ت ن س هذا مثبتاً واقتصادياً للظروف المعنية لحادثات بخارا. وتقدم التقنية حالياً أداة ممكنة واحدة للسيطرة على الآبار الشاردة.

رابعاً - تخزين الأيدروكربون السائل

لقد قدمت الأوجه المختلفة لهذا التطبيق في خطوطها العريضة ونوقشت في المراجع المنشورة (٩ ، ١٠ ، ٦٣ - ٦٤). فعرضت الخبرة السوفييتية والأمريكية وأبدى اهتمام بريطاني (٦١) بهذا التطبيق. ومن المطلوب في هذا التطبيق أن تخزن الأيدروكربونات السائلة (الزيت الخام أو متكثف الغاز أو ربما النواتج المكررة) في حجم الفراغ الناشىء بتفجير نووي محتوٍ تحت الأرض (٩). وهدف هذا التطبيق هو تحسين اقتصاديات الامداد بالأيدروكربون السائل بالسماح بانتاج مستقر بينما تواجه الذروات الموسمية في الطلب (التخزين المنظم) أو بينما تنتظر معالجة او شحن الايدروكربونات السائلة وكذلك بتوفير التخزين الاستراتيجي.

فحجم الفراغ الذي تعطيه الفجوة أو المدخنة ونطاق التشريخ المحيط بها والمخلوق في تكوين غير نفاذ بواسطة تفجير نووي كامل الاحتواء قد يستخدم في تخزين الأشكال السائلة للبترول تحت الأرض. وقد تستخدم المشروعات تفجيراً واحداً أو عدة تفجيرات اذا كانت ستنشأ عدة فجوات للتخزين في موقع واحد. وأحد التغيرات في التصور قد تكون تخزين البترول عند موقع آبار بعيدة عن الشاطىء بينما ينتظر وصول ناقلات البترول.

١ - الأحداث السوفييتية والأمريكية:

لقد استعرض هذا التطبيق تقنياً في حالة واحدة أعلنها الاتحاد السوفييتي حيث خلقت فجوة لتخزين متكثف غاز (٩). وفي هذا الاستعراض استخدم متفجر نووي ذو ١٥ ك ط لخلق فجوة عند عمق ١١٤٠ متر في تكوين من طبقات ملحية. وللفجوة حجم قدره ٥٠٠٠٠ متر مكعب واختبرت بمائع وغاز حتى ضغط ٨٤ جوي لقياس حجمها والتأكد من سلامتها. وبعد ذلك جرى

استخدام الفجوة لتخزين متكثف الغاز عند ضغط حوالي ٨٠ جوي كجزء من التطوير لخزان غاز.

وفي الاتحاد السوفييتي أحدث تفجير نووي ذو ١ر١ ك ط عند عمق ٤ر١٦١ م فجوة ثابتة على شكل مجسم القطع الناقص وذات حجم ١١٢٠٠ م^3. واستخدم في الاتحاد السوفييتي كذلك متفجر نووي ذو ٢٥ ك ط في قبة ملح عند عمق ٦٠٠ م لخلق فجوة كروية تقريباً وذات حجم حوالي ١٤٠٠٠٠ م^3. وقد اختبرت هذه الفجوة تحت الضغط. وفي الولايات المتحدة أنتج متفجر نووي ذو ٥ ك ط أطلق في قبة ملح فجوة ثابتة ذات أبعاد متناسبة مماثلة.

ولقد نوقش تطور فهمنا لهذا التطبيق في ثلاث أوراق سوفييتية (٦٣ - ٦٥). وفي الورقة الأولى قدم ك. ف مياسينكوف وزملاؤه (٦٣) توصيات علمية وتكنولوجية عن كيفية تعيين البرامترات الأساسية للفجوات تحت الأرض التي تخلقها التفجيرات النووية في تكوين صخر ملحي. ودرسوا المقتضيات والاجراءات الضرورية للحصول على أماكن للتخزين تحت الأرض محكمة هوائياً وقدروا مدى ثبات مثل هذه الفجوات في ضوء عمق دفن الشحنة وتأثير الموجات الناتجة من التفجير والصفات الميكانيكية للخصر المحيط. وتحوي الورقة اقتراحات لانشاء أماكن للتخزين ولتعيين حجم الثقوب والشروخ في النطاق المتاخم. ووفقاً لهذا المؤلف فان انشاء فجوات مستقرة في تكوين لصخر ملح ضروري لتخزين المتكثفات السائلة للنواتج على مستوى صناعي. ويوضح تحليل للتأثيرات الميكانيكية للتفجير أنه من الممكن أن تستخدم تفجيرات لخلق مستودعات في صخور من الأنواع الآتية: الجرانيت والدولوميت والتوف والحجر الرملي الخ. وفي مثل هذه الحالة فان نظام الفجوات والشقوق في نطاق التشريخ في التكوين هو الذي سيستخدم كمستودع.

وفي الورقة الثانية (٦٤) يشير المؤلفون الى أن التفجيرات النووية تقدم

وسيلة مشجعة لخلق حيز للتخزين تحت الأرض في صخر الملح. واستعرضت المشاكل الداخلة في تطوير التكنولوجيا المطلوبة. وأعطي وصف لنتائج تفجيرين نوويين في صخر ملح (ذات حصائل ١ر١ و٥ر٢ ك ط) حلت بعض المشاكل التكنولوجية القائمة. وتوصل الى الاستنتاج بأنه سيكون من المطلوب اجراء بحوث أخرى قبل أن يمكن استغلال الطريقة للأغراض الصناعية.

وفي الورقة الثالثة (٦٥) يعتبر كدروفسكيج وزملاؤه ثلاثة أنواع أساسية من المواقع أو التكوينات التي يمكن استخدامها لبناء خزانات بواسطة تكنولوجيا ت ن س وهي الصخور ذات النفاذية المنخفضة والمناجم المستنفذة وتكوينات صخر الملح. وأعطيت المعادلات للتنبؤ بالتأثيرات الميكانيكية لتفجير ما في الصخور مع أخذ الخصائص المميزة لقوتها في الاعتبار. ووصفت الاجراءات الهندسية لسد وترميم ثقوب الموضع بحيث يمكن استخدامها لتشغيل الخزان تحت الأرض. ووصفت الخبرة من بناء وتشغيل خزان متكثف الغاز ذي ٥٠٠٠٠ م٣. وكان الدخول ثانية بعد عدة أشهر من التفجير. ويدخل الغاز في الفجوة كمتكثف في شكل غير مستقر أي أن به غاز. ويحدث نوع من الاستقرار في الفجوة بخروج الغاز من المتكثف. ويساعد في ذلك درجة حرارة الفجوة المرتفعة. وقد اختبرت الفجوة بغاز ومائع حتى ضغط ٨٤ بار لقياس حجمها والتأكد من سلامتها. وبعد ذلك جرى استخدامها صناعياً كجزء من جهد تطوير لهذا التطبيق يستهدف استبعاد ضرورة بناء منشآت معالجة وتخزين عالية التكلفة فوق السطح. ولا يذيب المتكثف الملح وبالتالي فليس من المرجح أن يذيب المتكثف جدران الفجوة أو المنصهر. وفي هذه الواقعة استخدم متفجر انشطاري وبالتالي لم تكن هناك مشكلة تريتيوم. ولقد وجد بعض من الروتينيوم ـ ١٠٦ وكذلك بعض نواتج انشطار أخرى ولكن مساهمتها كانت غير ذات دلالة. ولقد قرر أن الاشعاعية عامة في متكثف الغاز المخزن في الفجوة أدنى من معايير الاشعاع المعمول بها (ملخص ٦). وفي ضخ المتكثف في

الفجوة (٦٥) لم يكن هناك صعوبة من الجسيمات الصلبة ولكن كانت هنالك صعوبات أخرى مما سمي « بالسدادات الايدراتية » . وتشمل هذه السدادات البارافينات والمواد الأخرى في الغاز التي ترسب في الأنبوبة . وتستخدم على أي حال الطرق المعتادة للتعامل مع هذه الصعوبات . وأخيراً تقدم طريقة في ملحق هذه الورقة لحساب استقرار الفجوات الكروية التي تخلقها التفجيرات النووية في صخر الملح .

٢ - نظرة بريطانية لتخزين الزيت تحت قاع البحر:

قدم ك . باركر (٦١) النظرة التالية لاحتمال استخلاص الزيت من تحت الأجزاء الأعمق من البحار والمحيطات بمساعدة التفجيرات النووية . فلقد أجريت دراسات محدودة في المملكة المتحدة حول الدور الذي يمكن أن تلعبه الفجوات والمداخن النووية في تنمية حقول الزيت والغاز بعيداً عن الشاطىء . والعوامل التي تدخل في الاعتبار نموذج لتلك التي تؤثر في تقييم أي مشروع ت ن س مهما كان نوعه وموقعه المقترح . ويتفق عدد من الدراسات النظرية بصفة عامة على أنه اذا كانت المشاكل العملية لا تتطلب حلولاً مرتفعة التكلفة فان تكاليف تحقيق تخزين الزيت في فجوات نووية يمكن أن يقع في مدى ١ دولار الى ٢ دولار للبرميل (بدولارات ١٩٧٥) بالمقارنة مع ٥ دولار و١١ دولار الى ٢٥ دولار للبرميل في تخزين قاع البحر في صهاريج مصنعة مثل تلك الموجودة في حقل اكسوفسك في بحر الشمال .

وتوجد أساساً طريقتان لانتاج الزيت من حقل بعيد عن الشاطىء - نقل الزيت بالانابيب الى الشاطىء أو استخدام الناقلات عند نوع ما من نظام الرسو قريباً من رأس البئر . وللانابيب عدد من المزايا خاصة السماح بالانتاج المستمر في كل الاجواء . ولكنها عالية التكلفة ولا يمكن مدها في أكثر المياه عمقاً . ويستغل عن طريق الانابيب الحقول التي تكون كبيرة نسبياً و/أو تكون

قريبة من الشاطىء فقط. وعندما ينقل الزيت بالناقلات فانه يكون من المفيد دائماً تقريباً أن يعد تخزين ليسمح بالانتاج المستمر حتى أثناء الظروف الجوية السيئة التي لا يمكن عندها شحن الناقلات. وعندما يتقرر نقل الزيت بالناقلات فانه من المعتاد أن تعد طاقة تخزين تعادل ما بين ٥ و١٠ أيام من انتاج حقل الزيت. وقد ترتفع أحياناً الى ٢٠ يوماً. وقد يمكن استخدام الفجوة/المدخنة النووية كحيز للتخزين. وفي حالة التخزين عند حقل فان الزيت يزيح ماء البحر عندما يمتلىء مخزن الزيت. وعندما يسحب الزيت لشحن الناقلات فان الضغط التفاضلي للماء والزيت يساعد عملية النقل. ومتوقفاً على ضغط الحقل قد يكون من الضروري المد بمنصات أو بمضخات مثبتة على قاع البحر للتشغيل بكفاءة.

ويظهر أن التطبيق العملي الوحيد حالياً للتفجيرات النووية لخلق تخزين للموائع هو الذي أجري في الاتحاد السوفييتي لتخزين الغاز الطبيعي وهو يستخدم الملح وهو وسط جيولوجي خاص نسبياً. وان بساطة المبدأ لا يجوز أن تخفي حقيقة أن عدداً من المشاكل العملية باق ليحل قبل أن يكون تخزين الزيت في فجوات نووية مقبولا عامة على أنه صالح تقنياً. وبعض الأسئلة الهامة هي:

أ - ديناميكية سيل الزيت وماء البحر في الفجوة المليئة بالدبش. هل يمكن ملء المداخن وتفريغها في وقت معقول وما هي العمليات التي تحدث عند السطح البيني للزيت والماء؟.

ب - هل يمكن الحفاظ على سلامة التخزين على مدى وقت ضخم؟.

جـ - هل ستترسب مواد صلبة من الزيت وتسد قنوات السيل في الفجوة النووية؟

د - هل يمكن في الواقع العملي تطهير الفجوة النووية بنجاح من الاشعاعية؟

ويوحي العمل النظري لسيدون أن الغسيل المتدفق بالهواء أو الغاز الطبيعي أو ماء البحر صالح تماماً وخاصة بالنسبة للمداخن تحت قاع البحر وفي الماء العميق.

هـ - هل سيحدث أي تلوث اشعاعي للزيت المخزون أثناء التشغيل واذا حدث ذلك فما مقداره؟

و - ما هي مخاطر التلوث بالزيت التي تنشأ في نظام حقل انتاجي يستخدم مداخن نووية؟

ومن الواضح أن اقتراح باركر لا زال نظرة تصورية مبكرة.

٣ - تقييم تخزين الأيدروكربون السائل بواسطة ت ن س:

لقد قدم التقييم التالي لهذا التطبيق (٩).

أ - الشكوك التقنية:

لقد درس بناء منشآت لتخزين الزيت باستخدام التفجيرات النووية في تكوينات الملح فقط ومن غير المعروف ما اذا كان من الممكن التأكد من سلامة الفجوة في الاوساط الجيولوجية الموجودة بشكل أكثر انتشاراً وعلى مدى فترات طويلة من الزمن. وفيما يخص التطبيقات بعيداً عن الشاطىء فانه لا توجد خبرة في تفجير المتفجرات النووية تحت قاع البحر. والدرجة التي قد تحدث بها اعاقة لسيل الزيت بواسطة القاذورات وأنقاض التفجير في المداخن النووية والقسم من الزيت الذي قد لا يمكن استرجاعه انما هي أمور مشكوك فيها. وهناك شكوك اضافية تتصل بالتلوث الاشعاعي الممكن للزيت المخزون وبالحاجة الى الغسيل المتدفق وفاعليته لازالة المواد المشعة من الفجوة أو المدخنة قبل الاستخدام.

ب ـ عوامل الموقع الخاصة:

١ ـ يلزم وجود نطاق غير نفاذ حول الفجوة أو المدخنة ومنطقة التشريخ الخاصة بها للتأكد من سلامة قاعة التخزين وقد يحتاج الى بيانات جيولوجية عن تماثل التكوين وصفات الصخر والتركيب الكيميائي ونظم التصدع لتقدير موقع ما. وحيث أنه يلزم استبعاد الماء الأرضي من حيز التخزين فان البيانات عن أي ماء أرضي ضرورية لتقدير الموقع. وهذه البيانات ضرورية كذلك لتقدير أي أثر راديولوجي تدخل فيه نظم المياه الأرضية.

٢ ـ يحتاج الى بيانات عن السكان والانشطة والانشاءات والمباني المرتبطة بها في المنطقة لتقدير المواقع بما في ذلك الآثار الزلزالية والراديولوجية وللتخطيط للوقاية.

٣ ـ عند الحقول البعيدة عن الشاطىء فان هناك اختياراً محدوداً للجيولوجيا. وقيود الموقع أقل كثيراً بالنسبة للتخزين الاستراتيجي والتخزين المنظم.

جـ ـ معطيات الأمان:

١ ـ التسرب العرضي لنواتج تفجير مشعة: الاحتمال صغير متوقفاً ذلك على الدراسات الجيولوجية الملائمة وعمق الدفن المناسب للمتفجر. واذا حدث نز ضئيل لنواتج غازية للتفجير فبتوفر قدرة استجابة قابلة للاستخدام يكون تعرض الجمهور منخفضاً جداً. ويمكن انقاص الأثر بالاختيار المناسب لوقت الاطلاق وبظروف تشتت طقسي مقبولة وبالسيطرة الملائمة على المنطقة القريبة من الموقع.

٢ ـ لا يحدث أذى للأفراد بسبب التأثيرات الزلزالية بشرط تحديد الشحنة بقيمة ملائمة تتوقف على توزيع السكان وتنظيات الاخلاء المؤقت. ويمكن التنبؤ بشكل ملائم بالضرر للانشاءات ويتوقف القدر المقبول على

الاعتبارات الاقتصادية.

د - المعطيات الصحية:

١ - من الممكن حدوث تعرض اشعاعي للجمهور بالقرب من الموقع أثناء عمليات الدخول ثانية.

٢ - قد يؤدي التلوث الاشعاعي للزيت المخزون الى تعرض المستهلكين وغيرهم للاشعاع، وقد ظهر تجريبياً أن مستوى تلوث متكثف الغاز منخفض جداً في حالة واحدة. وقد يكون الغسيل المتدفق مفيداً قبل الاستخدام المخطط للفجوة. وسيكون من الممكن التخلص من الغاز الذي لوث في الغسيل المتدفق.

٣ - اذا ثبت أن التخزين تنقصه السلامة فقد يحدث تلوث بالزيت. واراقة الزيت أثناء التشغيل خطر محتمل ومشترك بين كل طرق التخزين.

هـ - المعطيات البيئية:

ان التخزين تحت الأرض أقل مرئية عن التخزين فوق سطح الأرض ويستطيع أن يحافظ على سطح الأرض القليل. وللتلوث الممكن بالزيت آثار بيئية (ولكنها ليست مقتصرة على طريقة ت ن س).

و - عناصر التكلفة الرئيسية:

تقييم الموقع خاصة بالنسبة للسلامة المرجحة؛ المد بالخدمات المتصلة بالمتفجر النووي؛ ثقوب الموضع؛ الغسيل المتدفق للمخزن من الاشعاعية؛ تركيب المعدات التقليدية - مضخات وأنابيب الخ.

ز - بعض البدائل الاقتصادية والتقنية:

التخزين في صهاريج من الصلب فوق الأرض أو تحتها أو في كهوف الصخور أو في كهوف الملح الذائب أو في مناجم لم تعد تستعمل. واستخدام أنابيب

ملحومة لربط الحقول البعيدة عن الشاطىء بالمنشآت فوق الشاطىء.

ح ـ مقارنة التكلفة مع البدائل:

قباب أو طبقات الملح المذابة وخاصة خارج الشاطىء وعلى مقربة منه أو بالقرب من البحر وربما المناجم التي لم تعد تستعمل من المحتمل أن تكون أقل تكلفة من الفجوات التي تخلقها ت ن س. والتخزين النووي تحت المياه العميقة من المرجح أن يكون أرخص من هذه الامكانيات. وتشير الدراسات كذلك الى أن التخزين النووي أرخص من التخزين في صهاريج الصلب فوق الأرض بفرض اختيار مواقع ملائمة.

ط ـ عوامل خاصة:

ان اعتبارات الضرر الزلزالي توحي بأن يكون من المرجح تفضيل المواقع البعيدة عن الشاطىء. فطاقة التخزين لكل كيلوطن من الحصيلة من مستوى يجعل التخزين الاستراتيجي قد يحتاج الى عشرات من الفجوات وكل منها يحتاج الى متفجرات قائمة بذاتها. وقد تكون هذه هي الحالة حتى بالنسبة للتخزين عند حقول بعيدة عن الشاطىء. وللبلدان المختلفة احتياجات متباينة من التخزين الاستراتيجي. وان احتمالات استخراج الزيت من تحت المياه العميقة (أكثر من ٣٠٠ م) بعيداً عن الشاطىء لا زالت مشكوكاً فيها. وفي أغلب الحالات، بعيداً عن الشاطىء أو فوق الشاطىء، يوجد كثير من البدائل المنافسة لتخزين الزيت بواسطة ت ن س.

ي ـ الاستنتاجات:

هناك تخزين واحد لمتكثف غاز شغال بنجاح قد استعرض عملياً مرات عديدة انتاج فجوات تخزين في الملح باستخدام ت ن س. وتوحي الدراسات النظرية المتوفرة بأن تخزين الزيت الذي يتحقق بواسطة ت ن س يمكن أن

يكون منافساً للبدائل وبالخصوص بعيداً عن الشاطىء. وعلى كل حال فان المخاطر المتصلة بسلامة التخزين والخواص المميزة لسيل الزيت (الانسداد الخ) ذات حجم مشكوك فيه. ويجدر أن نلاحظ في اتصال وثيق بهذا الموضوع انه لا توجد خبرة في تفجير متفجرات نووية تحت قاع البحر.

خامساً - تخزين الغاز الطبيعي

لقد عولج هذا التطبيق الممكن في المراجع المنشورة (٨، ٩، ١٠، ٥٥، ٥٦، ٦١، ٦٦ - ٧٠). وحصل على الخلفية التجريبية من الاتحاد السوفييتي والولايات المتحدة وفرنسا. وقد عرضت الاحتمالات في امكانية هذا التطبيق في الولايات المتحدة (٦٦، ٦٧) وفي غرب أوروبا (٦٨، ٦٩) وفي فرنسا (٧٠) وفي مصر (٥٥، ٥٦) وكذلك نظرة بريطانية عن تخزين الغاز من تحت قاع البحر.

فلقد كان هناك نمو هائل في استخدام الغاز الطبيعي كمصدر للطاقة ب مدى الثلاثين عاماً الأخيرة (١٠). ونظراً لمزاياه من زاوية تلوث الهواء فان هذا النمو سيستمر بلا شك بنفس المعدل أو بمعدل أعلى. وان أكبر مشكلة تواجه صناعة توزيع الغاز حالياً هي التذبذب الضخم في الطلب من أسبوع الى أسبوع ومن شهر الى شهر. وكي نتلافى ضرورة اقامة منشآت أنابيب بالقدر الذي يتطلبه طلب الذروة فقد طورت وسائل مختلفة لتخزين از بالقرب من سوق الاستهلاك لمواجهة طلبات الذروة. وعلى سبيل المثال فان استثمار صناعة الغاز الامريكية في منشآت التخزين حتى ١٩٧٠ بلغ أكثر من ١٠^٩ دولار أمريكي. وقد حقق أغلب التخزين من خلال استخدام تكوينات الزيت والغاز المستنفذة. فلها ميزة التكلفة المنخفضة جداً للتطوير والصيانة ولكن المعدل الذي يمكن به حقن الغاز واستعادته محدود. ومن سوء الحظ فانه نظراً لنمو صناعة الغاز فواقعياً كل التكوينات المستنفذة المعروفة يجري استخدامها حالياً. والطريقة الرئيسية الاخرى للتخزين هي الاسالة يتلوها التضاغط.

وهذه تعطي وسيلة وصول طيبة للغاز المخزون ولكن بناء وتشغيل مثل هذه الوسائل للتخزين ذات تكلفة أكبر كثيراً.

وان تطبيق ت ن س في صناعة تخزين الغاز يتصور خلق فجوة أو مدخنة في تكوين محكم غير مشرخ وغير نفاذ مثل الطفل أو الملح في موقع أقرب الى السوق بالقدر المقبول زلزالياً وضخ الفجوة المليئة بالغاز. ويمكن استخدام ضغوط قريبة من الضغط الليثوستاتيكي (حوالي ٧ر٠). والحجم المستخدم هو الفجوة أو الفراغات البينية بين قطع الدبش اذا انهارت الفجوة والشروخ الممتدة حول الفجوة لعدة أنصاف قطر للفجوة. ونظراً للنفاذية المرتفعة جداً للفجوات أو المداخن فان معدل توصيل مثل هذا التخزين مقيد فقط بكبر الأنبوبة الممتدة الى السطح. ويمكن أن تستخدم المشروعات اما تفجيراً وحيداً أو تفجيرات قليلة اذا كان المطلوب خلق غرف تحميل عديدة عند موقع واحد.

١ ـ الحدث السوفييتي والخبرة الأمريكية والفرنسية:

لقد استعرض هذا التطبيق تقنياً في حالة واحدة نشر عنها الاتحاد السوفييتي (٩). فالفجوات في قباب الملح التي وصفت تحت تخزين الايدروكربون السائل يمكن أن تكون صالحة كذلك لتخزين الغاز. والتفجيرات النووية تحت الأرض التي قام بها حتى الآن الاتحاد السوفييتي وفرنسا والولايات المتحدة تقدم الأساس للتنبؤ بأحجام الفجوات التي يمكن أن تخلق في موقع مقيم بشكل ملائم ولتعيين العمق المطلوب للاحتواء الكامل للتفجير.

وقد أوضحت دراستان أمريكيتان مستقلتان لهذا التطبيق (٧١، ٧٢) أن الفجوات من ٥٠ الى ١٠٠ ك ط يمكن أن تكون منافسة جداً من الناحية الاقتصادية لوسائل التخزين الأخرى ولها الميزة الاضافية لخصائص قدرة التوصيل الجيدة جداً. وتتحدث دراسة كيتش للصلاحية (٧١) عن تخزين الغاز عن توفير أكثر من ألف خزان لتخزين الغاز في الولايات المتحدة على مدى

فترة ثمان سنوات . وفي الواقع فان التقدير الجيولوجي للمواقع المحتملة لمثل هذا التخزين قد يقدم مشكلة ضخمة (٦٨) . وتصف ورقة أمريكية اخرى قدمها راندولف (٦٦) بحوث التأثيرات الجيولوجية والنووية التي كشفت عن راسب كتلة ملح في موقع يمكن فيه أن توفر خمسة انفجارات نووية ذات ٢٠٠ ك ط لكل منها على عمق ١٧٠٠ م التخزين المطلوب لمواجهة قدرة توصيل للذروة قدرها ١ر٧ × ١٠^٦ م^٣/ي في غرب أريزونا بتكلفة تقدر قيمتها بمبلغ ٢٠ مليون دولار وهو منافس تماماً لمتوسط تكلفة ٥ر٦٢ مليون دولار المطلوبة لتوسيع طاقة النظام بهذه الكمية .

وفي فرنسا أجريت دراسة تقترح استخدام متفجر ذي ٢٠ ك ط عند عمق ١٤٠٠ م لخلق فجوة ذات حجم هندسي من ٩٠٠٠٠ م^٣ عند خط ساحلي (٩) . وتناقش دراسة فرنسية أخرى قدمها بارتو وزملاؤه (٧٠) بصفة عامة معايير اختيار فجوات التخزين تحت الأرض للايدروكربونات السائلة والغازية في فرنسا . وتراجع الجوانب التي يلزم أخذها في الاعتبار بما في ذلك اختيار الموقع واقتصاديات مثل هذا التخزين . وتناقش طريقة استخدام فجوة تحت الأرض يحدثها ت ن س .

وفيما يخص الأوجه الراديولوجية فمن المنتظر أن يكون التريتيوم والكربتون ـ ٨٥ المصدر الرئيسي للتلوث الاشعاعي كما هو الحال في تطبيق تحفيز الغاز (٨) . وان الخبرة في تطبيق تحفيز الغاز تعطي الثقة في أن التلوث يمكن انقاصه الى المستويات المقبولة بالغسيل المتدفق للمحتوى الغازي الأولي الى الخارج . وتصل الدراسة الفرنسية (٧٠) الى نفس الاستنتاج . وقدم أوتوواي (٦٧) طريقة لتقدير الخطر على الجمهور من انفجار تحت الأرض في برنامج بلاوشير بتطبيق عينة على تجربة افتراضية لتخزين الغاز (٥٠ ك ط) . وتبحث الطريقة احتمال تسرب نواتج انشطار وكذلك مدى تكرار ظروف الريح والجو المختلفة . وعينت علاقات تسرب نواتج الانشطار مع احتمالاتها بتحليل احصائي

باستخدام بيانات موقع اختبار نيفادا (م أ ن) القابلة للتطبيق. ويمكن ان تنطبق هذه العلاقات على أغلب التطبيقات الهندسية تحت الأرض لبرنامج بلاوشير باستثناء تلك الأوساط التي لها ضغط تكوين مثل تحفيز الغاز الطبيعي. وتشير نتائج تطبيق العينة الى أن المخاطر للجمهور من انفجار بلاوشير صغيرة جداً وأنه في رأي مؤلف تلك الدراسة يجدر أن يدرس تنفيذ التجارب دون التخطيط لظروف جوية معينة.

وفي ضوء الخبرة السوفييتية (ملخص ٤) فان الابعاد القصوى المؤقتة للفجوة التي لها استقرار تحت تأثير الضغط الليثوستاتيكي وموجات التفجير القوية مع انشاء فجوات مجاورة تحت الأرض يمكن أخذه على أنه ١٫٦ × ١٠ ^٥^ م^٣^. وقد يمكن استخدام الفجوة بعد وقت قصير من خلقها اذا أمكن ايجاد وسائل فعالة لتبريد الفجوة وتنظيفها من نواتج الانحلال الاشعاعي الى القدر الذي يكون معه أي تلوث للمواد المخزونة غير ذي دلالة (على الأقل في داخل حدود التلوث المسموح بها).

وبالنسبة لحركة الأرض فانه في ضوء الخبرة الزلزالية لحدث روليسون التي قدمها فان درهارست (٦٩) فانه بالاختيار الملائم للجيولوجيا ولحصيلة التفجير وبمراجعة الانشاءات في المنطقة المتأثرة (داخل ٣٥ كم من الانفجار) فانه يمكن ترتيب الضرر الزلزالي ليكون صغيراً الى القدر المقبول. ولكن خاصية مميزة لهذا التطبيق هي أن الطلب على تخزين الغاز أكبر ما يكون بالقرب من مراكز الطلب (مناطق آهلة بالسكان وصناعية) وهذا يفرض قيوداً زلزالية شديدة.

٢ ـ دراسة أوروبية غربية لتخزين الغاز:

لقد درست بعض الجوانب لامكان استخدام تكنولوجيات ت ن س لتخزين الغاز في أوروبا الغربية (٦٨ ، ٦٩). وتتناول دراسة باركر (٦٨) أساساً المقارنة الاقتصادية بين تقنيات التخزين النووية والتقليدية. وتبدأ بمناقشة

المشاكل التقنية التي يجب أخذها في الاعتبار في التخزين النووي. وهي: (أ) سلامة التخزين التي تتطلب مراجعة جيولوجية شاملة وعالية التكلفة؛ (ب) تطهير الفجوة من الاشعاعية المتخلفة اما بالماء أو الغاز أو الهواء؛ و (جـ) الضرر الزلزالي الذي له أهمية خاصة في ظروف أوروبا الغربية نظراً للكثافة السكانية العالية ولاختلاف تصميم ومواد البناء عن تلك الشائعة في الولايات المتحدة. ويعتبر الضرر الزلزالي بمبلغ ٢٥٠٠٠٠ جنيه استرليني للحدث الواحد الحد الاقتصادي لهذا التطبيق.

وقد اتبع باركر الخط التالي في التحليل الاقتصادي. ففي تقدير أولي لتكلفة خلق تخزين للغاز بواسطة التفجيرات النووية تحت الأرض في غرب أوروبا يبدو من المعقول أن يقدر ما يمكن تحقيقه بواسطة متفجرات ذات ٢٥ ك ط. فالحصائل الأكبر ستضخم مشكلة الضرر الزلزالي بينما عند الحصائل الأصغر ستكون الاقتصاديات أقل تفصيلا. فحصيلة ٢٥ ك ط حل وسط معقول يسمح بالمقارنة مع حالة ٢٤ ك ط التي بحثت في دراسة كيتش للصلاحية.

ويفترض امكان وجود مواقع مقبولة جيولوجياً تكون على مسافات اقتصادية من نظم النقل الأولية من ناحية ولكنها تكون من ناحية أخرى معزولة بدرجة مقبولة عن المراكز الرئيسية للسكان. ويفترض أن يجري التفجير داخل طبقة غير نفاذة ذات مدى كاف لاحتواء كل التشريخ ذي الدلالة. وعمق أدنى مقبول هو ٦٠٠ م، ويسمح بهامش فسيح للاحتواء ويمكن تحقيق درجة عالية من تكييف ضغط الغاز المخزون. وعند الاعماق الاكبر فان حجم فراغ المدخنة سيكون أقل ولكن يمكن احراز ضغوط أعلى مما يزيد الغاز المخزون في وحدة حجم الفراغ. وتزيد تكاليف الحفر مع العمق وقطر الثقب. وتتجه أسعار المتفجرات الى الزيادة مع نقصان قطر الثقب. ولضغط أدنى وثابت لغاز الفجوة فان تكاليف التضاغط تزداد مع زيادة العمق وضغوط

تشغيل التخزين القصوى. وان الامكانيات الناتجة المتناوبة بين عمق الموضع وقطر الثقب وتصميم المتفجر هي بالتالي أكثر تنوعاً منها في بعض تطبيقات هندسة التفجير النووي. وبالاضافة فان انشاء عدة مداخن للتخزين في نفس الموقع يمكن أن يؤدي الى وفورات جديرة بالاهتام.

وبهدف تقدير الامكانيات المختلفة نظر في التفجيرات على أعماق ٦٠٠ و١٢٠٠ و١٨٠٠ و٢٤٠٠ م وثقوب الموضع المغلفة ذات قطر داخلي يتوافق مع عديد من التغليفات المتوفرة والمتيسر الحصول عليها حالياً.

وبعد دراسة أحجام التخزين وحجم الغاز الذي يخزن في الفجوة وتقدير تكاليف بناء وتشغيل تخزين مداخن نووية في أوروبا الغربية توصل باركر الى الاستنتاج العام الأولي التالي:

ان الاستنتاج العام من هذه المقارنات هو أن التخزين في المداخن النووية من غير المرجح أن يكون اقتصادياً الا اذا أمكن ابقاء تكلفة الضرر الزلزالي للتفجير الواحد أقل من ٢٥٠٠٠٠ جنيه استرليني. فاذا أمكن تحقيق ذلك فان تخزين المداخن النووية يمكن أن ينافس تخزين الغاز الطبيعي المسال (غ ط م) بشرط وجود طبقات مناسبة داخل حوالي ٣٢ كم من نظام النقل الملائم. والمقارنة مع التخزين في فجوات الملح أكثر تعقيداً. فعند عمق ٦٠٠ م لموضع المتفجر النووي يكون مجال الاختيار صغيراً ولكن من ناحية أخرى فان تخزين غ ط م أرخص قليلا. وعند الاعماق يكون تخزين فجوة الملح ارخص من تخزين غ ط م عند مسافات تصل الى ٨٠ كم من خط النقل وأرخص من نظام التخزين في الفجوات النووية المثلى (حوالي ١٢٠٠ م عمق موضع المتفجر) عند مسافات تصل الى ٤٠ كم (٢٥ ميل).

ومن ناحية أخرى يذكر فان درهاوست (٦٩) أن الغاز الطبيعي قد أدخل حديثاً كمصدر هام للطاقة في أوروبا وتتزايد معدلات استخدامه أسرع منها في الولايات المتحدة. وتقع المصادر الرئيسية في شمال شرق هولندا وبحر الشمال

وجنوب فرنسا وروسيا. وقد بنيت شبكة نقل ضخمة لتوصيل الغاز لمناطق السوق الرئيسية، ولكن نظم التخزين بالقرب من المناطق المستخدمة مطلوبة لكفاءة استخدام الانابيب. وعلى الرغم من أن الحاجة لتخزين الغاز على نطاق كبير واضحة الا أن استخدام التخزين في الفجوات النووية لم يعد اعتباراً واسعاً نظرا لأن التقنية حديثة نسبياً وليست من المعلومات العامة لدى مهندسي مؤسسات المنفعة العامة ونظراً للكثافة السكانية المرتفعة لأوروبا. ويناقش المؤلف المشكلة الزلزالية في ضوء خبرة روليسون ويقترح عدة مناطق يبدو أنها من وجهة النظر الديموغرافية يمكن أن تكون عرضة لمثل هذه المشروعات. ومثل هذه المناطق موجودة في أجزاء من المسيف سنترال في فرنسا وفي مناطق عديدة من جمهورية ألمانيا الاتحادية مثل بافاريا الشمالية واللونيبر جرهايده والمنطقة غرب فرنكفورت. وحيثما توجد كتل مائية ضخمة بالقرب من الاسواق يمكن أن تكون المواقع بعيداً عن الشاطىء مثالية. ومن الواضح أنه من الضروري استكشاف الظروف الجيولوجية تحت السطح بالتفصيل للتأكد من وجود ظروف ملائمة للتخزين في المنطقة موضع الاعتبار. وتعالج الورقة بعد ذلك المزايا المختلفة للتخزين النووي على طرق التخزين الأخرى تحت الأرض. وتناقش كذلك الاقتصاديات وأيضاً الاجراءات والبرامج الزمنية لتحقيق مشروع معمم للتخزين النووي للغاز.

٣ - نظرة بريطانية عن تخزين الغاز تحت قاع البحر:

يلاحظ باركر (٦١) أن وعي العالم يتزايد بالحاجة الى الاستخدام الكامل لمصادره المحدودة من الوقود العضوي وخاصة البترول. ولقد فقد في الماضي كثير من الغاز الطبيعي المرتبط بالبترول الخام عن طريق الحرق. ومن المرجح أن ينظر بعدم الرضى للاستمرار في هذه الممارسة ويبرز السؤال عن كيفية استخراج الغاز الطبيعي بعيداً عن الشاطىء عند حقول بعيدة سواء كان الغاز الطبيعي موجوداً مع الزيت أو بمفرده. وبعض الامكانيات تتضمن:

أ ـ التحويل الى ميثانول والنقل بالناقلات ؛
ب ـ الاسالة والنقل بحاملات غ ط م ؛
جـ ـ الحرق في مولد كهربائي يدار بتربينة غاز ونقل الطاقة الكهربائية بالكابل الى الشاطىء.

ومن الممكن أن تتم مساعدة واحدة أو أكثر من بين هذه العمليات أو غيرها مما قد يقترح بتوفير منشآت لتخزين الغاز تحت قاع البحر. وان الفجوات والمداخن النووية ذات الكفاءة يمكن أن تسمح بتضاغط ضخم للغاز وبزيادة في الكمية المخزونة.

ومن الواضح أن هذا الأمر لا زال مجرد اقتراح أولي.

٤ ـ نظرة مصرية حول تخزين الغاز:

قدم م.ع الجبيلي وأ.م الشاذلي وك. دياب (٥٥، ٥٦) دراسة عن احتمالات تطبيق الفجوة/المدخنة النووية في تخزين الغاز الطبيعي من حقل زيت مرجان.

وفي الواقع فان غالبية حقول الزيت المصرية تقع في منطقة خليج السويس حيث تطلق كل كمية الغازات الطبيعية واقعياً الى الهواء. وأهم آبار الزيت حالياً في هذه المنطقة هو حقل زيت مرجان الذي يقع عند حوالي ٢٥٠ كم جنوب شرق السويس. والزيت مشبع بالغاز الطبيعي الذي يطلق الى الجو بمعدل يومي حوالي ١٤ × ١٠^{٦} م^{٣}. وقد درست المؤسسة المصرية العامة للبترول مشروعاً للانتفاع بحوالي ٧ × ١٠^{٦} م^{٣} من الغاز الطبيعي يومياً كان من المتوقع أن تنتج بشكل مستقر من حقل زيت مرجان بعد بضع سنوات. والهدف هو اسالة الغاز وتخزينه تحت الأرض على شكل بيوتين وبروبين سائلين. ونظراً لتوفر صخر الملح بكثرة في المنطقة قدم اقتراح ببناء ثلاث فجوات للتخزين كل منها ذات طاقة ٣١٠٠٠ م^{٣} بالطرق التقليدية بالغسيل

المتدفق للملح الى الخارج بواسطة الماء الذي يحصل عليه من الخليج. وبعد ذلك تخزن الغازات المسالة في هذه الفجوات قبل ارسالها الى مراكز الاستهلاك في البلاد.

وان أهم وحدة حاملة للملح في خليج السويس هو تكوين جنوب غارب من عصر الميوسين والذي يمتد تحت الخليج والى حوالي ٢٥ كم على جانبه الغربي. ويتكون هذا التكوين من حوالي ٨٠٪ صخر ملح مع طبقات بين الفينة والفينة من جبس - أنهيدرايت وطفل. وجدير بالذكر هنا أن العلماء الفرنسيين يعتبرون الطفل وسطاً جيداً لخلق فجوات بالتفجيرات النووية. ويتراوح سمك تكوين جنوب غارب بين ٤٠٠ و٨٠٠ م ولكنه قد يصل الى سمك ٢٠٠٠ م.

وفي تطبيق النتائج التجريبية للأحداث السوفييتية لخلق فجوات لتخزين الغاز المسال من بئر زيت مرجان يمكن تصور بديلين. والأول هو عمل ثلاث فجوات طاقة كل منها ٣١٠٠٠ م^{٣} باستخدام أداة تفجير ذات ٤ الى ٥ ك ط لكل فجوة. وهذا الاتجاه من المنتظر أن يؤدي الى خفض في التكلفة بالمقارنة مع التخزين في الطور الغازي نظراً للحاجة الى فجوات أصغر ولكنه يتضمن تكلفة اضافية نظراً للحاجة الى اسالة الغاز قبل التخزين وهي عملية عالية التكلفة. وعلاوة على ذلك فانه لا زال السؤال مطروحاً عما اذا كان الغاز المسال المكلف يمكن تخزينه في فجوات في حدود اقتصادية مقبولة. والبديل الثاني هو خلق فجوات في الملح لتخزين ٩٣ × ١٠^{٦} م^{٣} من الغاز (تعادل ٣ × ٣١٠٠٠ م^{٣} من الغاز المسال). واذا أخذنا في الاعتبار أن الأعماق المناسبة لموضع المتفجرات في المنطقة تتراوح بين ٦٠٠ و١٢٠٠ م فسيكون المطلوب من ثماني الى تسع فجوات باستخدام حصائل من ٢٥ ك ط وبطاقة تخزين فردية قصوى للغاز تتراوح من ٨٫٧٥ × ١٠^{٦} الى ١٣٫٤ × ١٠^{٦} م^{٣}.

ويساعد على اقتصاديات هذا التطبيق أوجه الأمان لمنطقة التخزين. فمنطقة رأس شقير جزء من الصحراء الشرقية وتقع عند حوالي ٢٥٠ كم جنوب شرق السويس وأكثر من ١١٠ كم شمال غرب مدينة الغردقة. وباستخدام حصائل من ٤ ـ ٥ ك ط فمن غير المنتظر أن يكون هناك ضرر زلزالي اذ أن التجارب السوفييتية بأدوات ذات ٢ر٣ الى ٨ ك ط قد أجريت على مسافات من المناطق المسكونة تتراوح بين ١ر٥ و٣٠ كم. وبالنسبة للحصائل من ٢٥ ك ط فيمكن ترتيب أن يكون الضرر الزلزالي لأي مباني صغيراً نظراً لمجال الاختيار الواسع للمواقع الممكنة في تكوين الملح الواسع الامتداد على الجانب الغربي من الخليج. ولقد لوحظ نشاط زلزالي طبيعي في البحر الأحمر ولكن أغلب البراكين مركزة في نصفه الجنوبي. وعلاوة على ذلك من ناحية الأمان فان الملح في منطقة التخزين غير نفاذ وبالتالي فهو معزول عن مياه الخليج وعن أي تجمعات موجودة من المياه العذبة. وعلى أي حال فلضمان أمان أكبر يلزم أن يختار موقع منطقة التخزين على بعد ٥ كم على الاقل من الخليج وألا يتطابق مع أي خطوط تصدعات قائمة.

ومن الواضح أن هذه نظرة علمية أولية لاحتمالات هذا التطبيق على الغاز الطبيعي من حقل زيت مرجان. وهي ليست دراسة جدوى أو قبل الجدوى. ولم يتخذ أي قرار من أي سلطة مصرية مسؤولة في هذا الشأن.

٥ ـ تقييم تخزين الغاز الطبيعي بواسطة ت ن س.

فيما يلي تقييم عام لهذا التطبيق المحتمل (٩).

أ ـ الشكوك التقنية:

لقد بحث بناء فجوات للتخزين في الملح فقط والشك التقني الرئيسي هو ما اذا كانت سلامة الفجوة يمكن تأكيدها في الاوساط الجيولوجية الموجودة بشكل

أكثر انتشاراً. ولا توجد خبرة في اطلاق متفجرات نووية تحت قاع البحر. وتتصل شكوك اضافية بالتلوث الاشعاعي الممكن للغاز المخزون وبالحاجة الى الغسيل المتدفق وفاعليته في ازالة المواد المشعة من الفجوة أو المدخنة قبل الاستخدام.

ب - عوامل الموقع الخاصة:

١ - يلزم وجود منطقة غير نفاذة حول الفجوة لضمان سلامة الفجوة وستكون البيانات الجيولوجية التفصيلية مطلوبة للتحقق من وجود مثل هذه المنطقة ولتقدير تأثيرات التفجير على المادة في هذا النطاق.

٢ - حيث أنه من الضروري استبعاد الماء من حجم التخزين هذا فان البيانات عن أي ماء أرضي موجود ضرورية لتقدير ملاءمة الموقع.

٣ - المعلومات عن توزيع السكان وعن كافة الانشطة والانشاءات المتصلة بها مطلوبة لتخطيط احتياطات الأمان ولتقدير ملاءمة موقع ما مع ملاحظة ان أغلب الاحتياجات الى تخزين الغاز تكون قريبة من مراكز الطلب والمناطق العالية السكان.

جـ - معطيات الأمان:

١ - الاحتمال صغير في التسرب العرضي لنواتج تفجير مشعة بسبب التنفيس المبكر قبل الغسيل المتدفق ويخضع ذلك لعمق الدفن. واذا حدث نز ضئيل لنواتج تفجير غازية ،فعندئذ ،وبمقدرة استجابة قابلة للتحقيق يكون تعرض الجمهور صغيراً جداً. والأثر قابل للنقصان بالاختيار الملائم لوقت الاطلاق والظروف الطقسية وبالسيطرة المناسبة على الموقع.

٢ - الخطر على الجمهور من التأثيرات الزلزالية صغير ويتوقف ذلك على التقييد الملائم للحصيلة والانذار المناسب بوقت الاطلاق والتعليمات

الملائمة للسكان المتأثرين. ويمكن التنبؤ بالضرر للمتلكات ويتوقف ذلك على المعرفة الملائمة عن الجيولوجيا والمراجعة المناسبة للانشاءات.

د - المعطيات الصحية:

يمكن أن يحدث تعرض اشعاعي للجمهور بالقرب من الموقع بتسرب الغاز أثناء عمليات الدخول ثانية للمدخنة وأي توهج للغازات المستخدمة في الغسيل المتدفق للفجوة أو المدخنة.

التلوث الاشعاعي للغاز المخزون. مستوى التلوث منخفض ويتوقف ذلك على استخدام متفجر منخفض التريتيوم وعلى الغسيل المتدفق الممكن للفجوة قبل التخزين.

التعرض الاشعاعي للافراد الناتج من استخدام الغاز المخزون ضئيل ويتوقف ذلك على ازالة الماء والرقابة والتخفيف المناسب للغاز قبل التوزيع.

هـ - المعطيات البيئية:

تلوث البيئة المحلية المحتمل بالتريتيوم من الماء المتخلص منه والمستخرج من الغاز وكذلك من توهج غازات الغسيل المتدفق.

الفجوة أقل مرئية عن البدائل السطحية واستخدام ت ن س يتفادى مشاكل التخلص من الملح في بديل التعدين بالاذابة.

و - عناصر التكلفة الرئيسية:

تقييم الموقع خاصة لترجيح السلامة؛ توفير الخدمات المتصلة بالمتفجر النووي؛ ثقب الموقع؛ تركيب معدات تقليدية للغاز - مضخات، أنابيب الخ.

ز - بعض البدائل الاقتصادية والتقنية:

التخزين في حقول الغاز المستنفذة؛ الكهوف المتخلفة من أعمال المناجم؛

كهوف الملح المذاب ؛ الطبقات الصخرية المائية وصهاريج التخزين فوق السطح. التخزين كغاز طبيعي مسال.

ح ـ مقارنة التكلفة مع البدائل:

تتوقف التكاليف بشدة على المواقع موضع الاعتبار. وتوحي الدراسات على الورق بأنه من المرجح أن توجد مواقع حيث قد يمكن أن يكون تخزين الغاز في فجوات ت ن س أرخص منه في البدائل.

ط ـ عوامل خاصة:

اذا أمكن وجود مواقع ملائمة اقتصادياً وتقنياً فمن المرجح أن يدخل في المشروعات اما تفجير واحد أو تفجيرات قليلة اذا أنشئت عدة قاعات للتخزين عند موقع واحد. وقيود الموقع المحددة ستحد بشدة من القسم من السوق الذي يكون في مقدور تخزين ت ن س أن يكفله. والتخزين أهم ما يكون بالقرب من مراكز الطلب المرتفع حيث يمكن أن تكون الكثافة السكانية عالية. وتوجد بدائل منافسة كثيرة.

ي ـ الاستنتاجات:

لقد أثبتت الصلاحية التقنية لتكوين فجوات أو مداخن في أوساط مختلفة وتخزين الغاز الطبيعي تصورياً واحد من أبسط تطبيقات ت ن س. ولم تثبت سلامة الفجوة الا في قباب الملح. وفي المواقع القليلة نسبياً التي يكون لتخزين ت ن س ميزة في التكلفة فان تكاليف الاتجاه التقليدي واتجاه ت ن س ليس من المرجح أن تختلف بأكثر من عامل ٢. وبالتالي فانه لا زال من اللازم اثبات الجاذبية التقنية والاقتصادية لهذا التطبيق بشكل حاسم.

سادساً - انتاج الزيت من الطفل

لقد ظهر الاهتمام بهذا التطبيق في الولايات المتحدة (٩ ، ١٠ ، ٧٣ ، ٧٤). ولم تجر اي تجربة نووية لبحث هذه الامكانية. ولكن بذل جهد في البحث والتطوير واقترح تصور لمشروع نووي.

ويصف زونز (٧٣) الموقف عامة على الوجه التالي. لقد أنتجت الأوقدة السائلة من طفل الزيت في أجزاء مختلفة من العالم منذ منتصف أو أوائل القرن الماضي ولكن في الوقت الحالي توجد صناعات فعلية لزيت الطفل في الاتحاد السوفييتي وجمهورية الصين الشعبية فقط. وعلى الرغم من أن عدداً من الشركات كانت تنتج الزيت من طفل الزيت في الولايات المتحدة الامريكية في ١٨٥٩ إلا أن اكتشاف البترول السائل أنهى بسرعة صناعة زيت الطفل في البلاد. وحينما وضح في منتصف الستينات في القرن الحالي أن الطلبات المتزايدة دائماً على الطاقة من المنتظر أن تصل قريباً الى نقطة قد تتطلب تطوير جميع المصادر الممكنة لدرء أزمة الطاقة ازداد الاهتمام مرة أخرى بتطوير طفل الزيت وهو مستمر في الزيادة في الوقت الحاضر.

وتوجد احتياطيات من طفل الزيت في الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي والصين والبرازيل.

وتوجد طفلات زيت في ٣٠ ولاية على الأقل بالولايات المتحدة. ولكن تلك الطفلات الموجودة في تكوين نهر جرين في كولورادو وأوتاه وويومنج توصف على أنها أفضلها من حيث الرتبة والموقع وتعتبر نظراً لثرائها النسبي الظاهر الأكثر مأمولية للتطوير المبدئي كمصدر للطاقة.

ويقدر أن راسب طفل نهر جرين يحتوي على ما يعادل حوالي ٢ × ١٠^١٢ برميل (٢ر٩ × ١٠^١١ طن) من الزيت وقد يكون أكثره قابلا للاستخلاص. ويغطي التكوين حوالي ٤٨٧٠٠ كم^٢ ويتراوح سمك الراسب الى

ما يصل الى ٦١٠ م وتوجد الرواسب الاكثر سمكاً في حوض بسيانس كريك في كولورادو. ويتراوح سمك الراسب بين بروزات فوق السطح وبين عدة آلاف من الأقدام تحت السطح. وطفل الزيت صخر رسوبي مصفح يحوي مادة عضوية غير قابلة للذوبان (كيروجين) ومادة عضوية قابلة للذوبان (بتيومين) ومعادن غير عضوية. وأنه ولو ان طفل الزيت لا يحتوي أساساً على أي زيت الا أن القسم العضوي يمكن أن يحول الى زيت بالحرارة. فحينما يسخن طفل الزيت الى درجات حرارة بين ٣٧٠ و ٤٨٠°م يتحلل حوالي ٦٧٪ من القسم العضوي الصلب الى زيت و١٠٪ الى غاز والباقي الى فضالة كربونية تبقى على الطفل. ونظراً لأن القسم العضوي من طفل زيت نهر جرين يشكل فقط ٥٪ الى ٢٥٪ من الوزن الكلي للطفل فانه من المنتظر أن تكون أوزان ضخمة من المادة مطلوبة لعملية تجارية لمعالجة طفل الزيت. فاذا عولجت حرارياً كميات كبيرة من طفل الزيت فمن المنتظر أن تتبقى كميات كبيرة من الطفل المتخلف، وهذه يلزم التخلص منها بطريقة مقبولة بيئياً.

واحدى الطرق التي يمكن بها استبعاد التعامل مع الطفل المتخلف هي بالمعالجة الحرارية للطفل في موضعه وهي تقنية مشهورة باسم المعالجة الحرارية الموضعية. وأي عملية تستخدم هذه التقنية من المنتظر أن تزيل كلا من الحاجة الى التخلص من الطفل المتخلف وتكاليف التعدين والنقل والتحطيم والغربلة للطفل الخام. وعلى الرغم من أن هذه التكاليف سيحل محلها غيرها الا أن هذه الاخيرة قد تكون منخفضة بقدر كاف لاعطاء المعالجة الموضعية ميزة اقتصادية وأيضاً بيئية على المعالجة فوق الأرض. وأكثر من ذلك فان نتائج الاختبارات الحقلية الحديثة تشير الى أنه قد يمكن استخلاص زيت ذي جودة أعلى من المعالجة الحرارية الموضعية منه في حالة استخدام طرق التعدين الأكثر تقليدية والمعالجة الحرارية في أوعية فوق السطح ولو أن حصيلة الزيت من طن الطفل من المحتمل أن تكون أقل.

وقبل أن يصبح من الممكن تشغيل عملية موضعية يلزم أن تكون النفاذية اما موجودة أو أن تحقق في طبقة الطفل الذي سيعالج للسماح للموائع أن تسري داخله والى الخارج. وفي بعض الطبقات توجد شروخ طبيعية كافية لتوفير النفاذية الضرورية لعملية قابلة للتشغيل ولكن في أغلب الحالات يلزم خلق النفاذية بواسطة التشريخ. ويجب ألا ينتج التشريخ فقط نفاذية كافية تسمح للموائع المحقونة والمنتجة بالمرور خلال الطبقة بيسر ولكنه يلزم أيضاً أن ينتج مساحة سطحية كافية للانتقال الفعال للحرارة الى الطفل ولكشف كمية ملائمة من الفضالة الكربونية كوقود للعملية اذا كانت الطاقة الضرورية يلزم توليدها بالاحراق الموضعي لهذه الفضالة.

ويمكن احداث التشريخ بالطرق التقليدية مثل التشريخ الهيدروليكي أو باستخدام المتفجرات الكيميائية العالية. فاذا كان الطفل مدفوناً بعمق فان التصور الحديث نسبياً للتكسير بالتفجير النووي قد يمكن أن يكون صالحاً ولو أن تكنولوجيا هذا التصور لم تثبت بقدر كامل. والاتجاه النووي هو الذي يحظى بالاهتمام الرئيسي في دراستنا هذه.

ومنذ عام ١٩٥٨ درس كثير من البحاث (٧٥ ـ ٧٧) صلاحية استخدام المتفجرات النووية لتشريخ صخر الزيت واستخلاص الزيت من الكتلة المشرخة بالمعالجة الحرارية لها في مكانها. وكثير من التقنيات المقترحة للمعالجة الحرارية الموضعية انما هي تعديلات وتوسعات لعملية المعالجة الحرارية دفعة بدفعة التقليدية. وفي مثل هذه العملية يبدأ نطاق احتراق عند قمة المعوجة ويتحرك الى أسفل خلال طبقة طفل الزيت بمعدل مقرر مسبقاً. ويتحقق التحكم في معدل حركة نطاق الاحتراق بالتعامل مع معدل سيل الغاز أو الهواء المدار ثانية.

وكلما مرت الغازات الساخنة المتولدة من احتراق جزء من المادة العضوية في الطفل الى أسفل خلال طبقة الطفل فانها تسخن الطفل الى درجة حرارة

المعالجة الحرارية (٣٧٠ الى ٤٨٠ °م) وتحمل معها النواتج السائلة والغازية التي تنطلق من الطفل. ويترك تيار العملية المعوجة قرب القاع ويبرد حتى يمكن فصل النواتج منه.

١ ـ البحث والتطوير المتصل بالتصور النووي الموضعي:

ان جهد ب و ت المتصل بالتصور النووي الموضعي لانتاج الزيت من طفل الزيت قد قدمه زونز (٧٣) ولويس (٧٤). وقد أشار زونز الى أن تتابع العمليات التي كانت لسنين كثيرة موضوعاً لغالبية البحث والتطوير حول جعل طفل الزيت تجارياً يتضمن التعدين والطحن والغربلة والمعالجة الحرارية لطفل الزيت لانتاج زيت طفل خام ويتلو ذلك تكرير الزيت الخام ليعطي سلسلة من النواتج شبيهة بتلك المشتقة من البترول. وفي السنوات الحديثة بذلت كل من الحكومة والصناعة جهداً كبيراً حول امكانية المعالجة الحرارية الموضعية. وهذا الاتجاه اذا كان صالحاً فمن المنتظر أن تظهر له مزايا عديدة.

ويجري مركز بحوث لارامي للطاقة (ويومنج) التابع لمكتب المناجم برنامجاً للبحث المكثف بهدف جمع المعلومات الضرورية لتعميم تقنيات للمعالجة الحرارية صالحة تقنياً لاستخلاص زيت الطفل من كل من عمود دبش المدخنة النووية التي يخلقها التفجير ومن نطاق التشريخ المحيط بالمدخنة.

وان نجاح تقنية ما للمعالجة الحرارية الموضعية لاستخلاص زيت الطفل من كتلة طفل الزيت المشرخة الموجودة في المدخنة النووية سيتوقف على: (أ) نفاذية كتلة الطفل المشرخة التي يخلقها التفجير؛ (ب) متوسط حجم قطع الطفل الناتجة من تكوين المدخنة؛ (جـ) درجة التحكم التي يمكن الحفاظ عليها في جبهة الاحتراق؛ و(د) اتساق معدل تقدم بجبهة الاحتراق.

ولدراسة بعض المتغيرات الهامة في المعالجة الحرارية لطفل زيت مدخنة نووية تم التشغيل في يناير ١٩٦٥ لمعوجة تجريبية فوق الأرض طاقتها حوالي

١٠ طن من الطفل. وقد أوضحت نتائج العمل بهذه المعوجة أن حصائل من الزيت بدرجة ارتفاع مثل ٨٠٪ من تحليل فيشر يمكن الحصول عليها من المعالجة الحرارية لطفل الزيت المأخوذ من المنجم والذي يحوي قطعاً يصل كبرها الى ٥١ سم في بعدين. وقد أشار عمل آخر الى ان استخلاص الزيت دالة للحجم الأقصى للقطع وكذلك لمتغيرات التشغيل مثل معدل الهواء ومعدل الغاز المدار ثانية ودرجة حرارة المعالجة الحرارية. ويحدد حجم القطاع كذلك كمية الكربون المتخلف التي تتوفر كوقود لطور الاحتراق في العملية نظراً للنفاذية المنخفضة لطفل الزيت. فالهواء يمكن أن يلامس فقط الكربون الموجود عند سطح القطع أو قريباً منه بدرجة معقولة أثناء الوقت الذي تكون فيه القطع في نطاق الاحتراق. وعلى ذلك فان كمية الفحم المتوفر للاحتراق يحددها بدرجة كبيرة المساحة السطحية لكتلة الطفل أو حجم قطعها.

وحيث أنه من المتنبأ أن غالبية القطع في مدخنة نووية لطفل الزيت من المنتظر أن يكون بعدها الاقصى ٢ر١ م أو أقل فقد بنيت معوجة مماثلة للمعوجة ذات ١٠ طن فيما عدا الحجم. فلهذه الوحدة طاقة اسمية قدرها ١٥٠ طن من الطفل وتستطيع أن تتعامل مع قطع بضخامة ٢ر١ م. ويستهل احتراق الطفل في المعوجة بمصباح غاز طبيعي (٧٤). وينفخ الهواء الى أدنى خلال الطبقة وتجمع النواتج السائلة في أسفل المعوجة. وتمرر الغازات التي تحوي ندى الزيت والماء خلال الابراج المحشوة ثم تبرد لازالة السوائل التي تحملها. وتعاد دورة بعض الغاز العادم في المجموعة والباقي يطرد الى المدخنة. وقد حصل على حصيلات زيت تصل الى ٦٢٪ في سبع تجارب أجريت في المعوجة بدءاً بطفل زيت تحليله ٢٠ ـ ٢٥ جالون/طن. وفي هذه التجارب تمت المعالجة الحرارية كاملة لكتل من الطفل ذات ٧ ـ ٨ طن في نطاق شحنة ١٥٠ طن. وان هذه النتيجة مشجعة جداً وتتضمن أنه حتى الكتل الكبيرة من طفل الزيت في المداخن النووية سوف تعطي زيتاً. والزيت الذي حصل عليه كان مائعاً بقدر معقول وكانت

نقطة انصبابه ٥٥ °ف (١٣ °م).

وفي عملية المعالجة الحرارية يلزم تسخين الطفل الى درجة حرارة من ٣٧٠ الى ٤٨٠ °م كي يتحلل الكيروجين الى زيت. والنواتج الاخرى التي تتكون هي الغاز (~١٠٪) وفضالة كربونية (تصل الى ٢٥٪). وتتغير هذه النسب بتغير ظروف العملية.

ويمكن استخلاص الاستنتاجات التالية من بحوث المعالجة الحرارية التي أجريت حتى الآن بالمعوجتين السالفتي الذكر:

أ - طفل الزيت غير المحدد المرتبة مثل ذلك الذي يتوقع وجوده في مدخنة نووية يمكن معالجته حرارياً بالكامل تحت ظروف سوف تنتج حصائل زيت جوهرية.

ب - يمكن معالجة كتل كبيرة من الطفل حرارياً بالكامل في حدود مدد زمنية معقولة؛

جـ - طفل الزيت المفتقر (١٥ جالون/ طن، ٥ر٧٥ وزن٪ زيت) يمكن معالجته حرارياً تحت ظروف ستنتج حصيلات من الزيت تزيد على ٥٠٪ من تحليل فيشر.

ومن ناحية أخرى أجريت بحوث موضعية عند عمق ٧ر٢٠ و٢ر٤٤ م باستخدام التشريخ بالمتفجرات الكيميائية العالية والتشريخ الهيدروليكي (٧٣). وأنه ولو أن عدداً من الصعوبات قد ظهر في كل من نظامي التشريخ فقد كانت النتائج مشجعة أكثر في حالة التشريخ الهيدروليكي عنها في حالة التشريخ بالمتفجرات الكيميائية العالية. وقد استنبطت الاستنتاجات التالية من الاختبارين الذين جرت مناقشتهما في هذا القسم:

أ - يمكن احداث نطاق احتراق في جسم من طفل الزيت المشرخ باستخدام

حقن الهواء ومصباح بروبين؛

ب - يمكن الحفاظ على هذا النطاق وتحريكه خلال الطفل بحقن الهواء؛

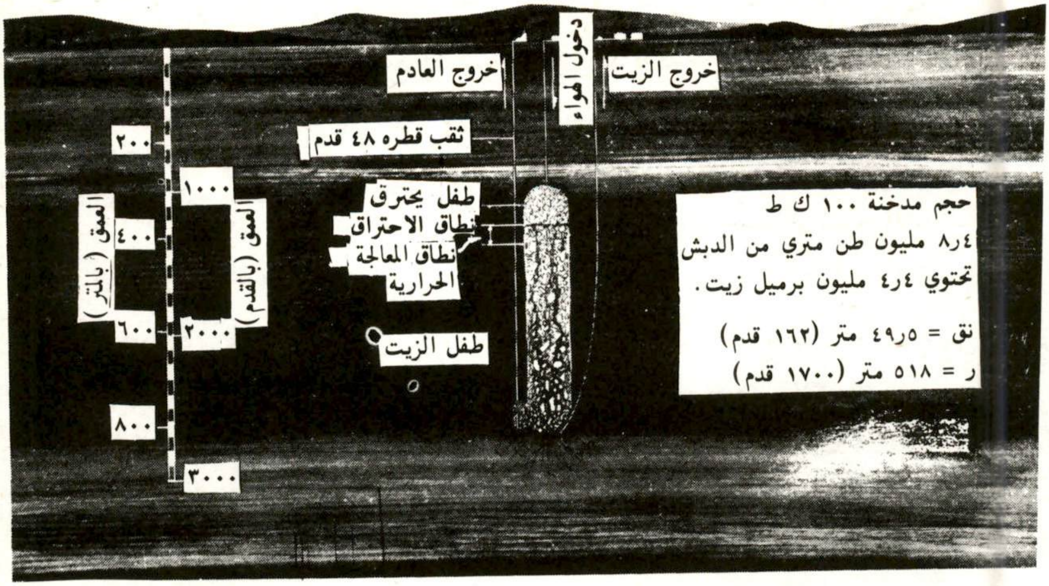
جـ - درجة تشريخ طبقة الطفل أمر حرج جداً. فما لم تخلق مساحة سطحية كافية بالتشريخ لتعريض وقود كاف لهواء الاحتراق لرفع الطفل الى درجة حرارة المعالجة الحرارية فانه لا يمكن الحفاظ على الاحتراق في التكوين وتتوقف العملية عن الابقاء الذاتي؛

د - يبدو أن فقدان النفاذية ليس مشكلة كبرى أثناء المعالجة الحرارية الموضعية لطفل الزيت هذا عند الاعماق الضحلة؛

هـ - الاستخلاص والتعامل مع الزيت المنتج أثناء المعالجة الحرارية الموضعية عند درجة حرارة عالية من المنتظر ألا يتطلب معدات خاصة.

٢ - التصور النووي الموضعي:

لقد قدم ليويس (٧٤) تصوراً نووياً موضعياً للمعالجة الحرارية لطفل الزيت. وهذا التصور موضح في شكل (١٣). ومن المحتمل ان يكون من الممكن تنمية غالبية طفل الزيت باستخدام حصيلات للمتفجرات لا تزيد على ١٤٠ ك عند أعماق للاطلاق أقل من ٢٧٠٠ قدم. ويتكون عمود الصخر المحطم بانهيار الصخر في الفجوة التي ينتجها التفجير النووي. ومن المحتمل أن يسبق التفجير بازالة المياه من التكوين. ثم تحفز ثقوب لتوفير مدخل الهواء ومخرج للغاز العادم ومخرج للزيت. وسيشعل طفل الزيت عند قمة المدخنة وسيتحرك نطاق الاحتراق الى أدنى خلال الصخر المحطم الى دبش. وستنقل الغازات الساخنة من نطاق الاحتراق الحرارة الى طفل الزيت أسفله محللة طفل الزيت ومطلقة للزيت. وسيتقدم الاحتراق بمعدل ٥ر١ الى ٨ر١ م/ي وبذلك يحتاج من ثلاثة أشهر الى سنة للمعالجة الحرارية لمدخنة واحدة ويتوقف ذلك على ارتفاعها. وبناء على البيانات التجريبية التي ذكرت تحت البحث



شكل (١٣) مدخنة طفل زيت محطم في شكل دبش والثقوب المطلوبة لعملية المعالجة الحرارية الموضعية ـ تصور توضيحي (٧٤).

والتطوير في القسم السابق يقدر أنه سيمكن تحقيق حصيلة ٦٠٪ من طفل زيت ذي ٢٠ جالون/طن عياري.

وبعد اختبار مشاكل هبوط الضغط في الفجوة وهبوط الضغط في امداد الهواء والغاز العادم وفي وصلات الثقوب بالفجوة يعطي ليويس الاعتبار للأثر البيئي للتطوير الموضعي لطفل الزيت ثم للتقديرات المستقبلية للتكاليف. وفيما يخص النواحي الراديولوجية يوضح في ايجاز أن الخبرة المكتسبة في الاختبارات النووية تحت الأرض تشير الى أن فرصة التنفيس الفوري للفجوة منخفضة جداً لغالبية أنواع الصخور بشرط أن تكون الانفجارات عميقة بالقدر الكافي وأن تلحم الثقوب المحفورة بشكل ملائم. ويلزم تقييم طفل الزيت بعناية من هذه الناحية نظراً لأن الحمل العلوي رفيع نسبياً ولانعدام الخبرة في صخر له نفس التركيب أو تركيب مشابه.

وان طفل الزيت موضع الاعتبار يحوي مادة كربونات اذا سخنت لدرجة عالية تتحلل و/أو تتفاعل مع صخر السيليكات منتجة غاز ثاني أكسيد الكربون. فاذا أنتجت كمية كافية من هذا الغاز ك أ٢ فقد تنتج ضغوطاً مرتفعة فتتوفر بذلك قوة دافعة لكسر طرق مفتوحة الى السطح تسمح للغازات والانقاض المشعة بالهروب.

وأثناء عملية المعالجة الحرارية ستتسرب الى الجو بالموقع غازات مشعة من الفجوة وأساسياً أيدروجين ـ ٣ وكربتون ـ ٨٥ وآرجون ـ ٣٧. ومستويات التركيز والتعرضات المحتملة من المنتظر أن تكون مشابهة لتلك المتوقعة في تجربة ريوبلانكو بشرط استخدام متفجر منخفض التريتيوم. وكمثال فان التعرضات القصوى المحسوبة للسكان بالقرب من بسيانس كريك وميكر من المنتظر أن تكون أقل كثيراً من ١٪ من الخلفية الطبيعية.

وفيما عدا التريتيوم لا تشكل المادة المشعة المحتواة في الزيت كجسيمات مادية أو المحتواة في الماء أي اهتمام لأنه يمكن فصلها بسهولة من الزيت وادخالها ثانية تحت الأرض. ومن المنتظر أن توزع كمية التريتيوم الناتج من التفجير بين المركبات الحاملة للأيدروجين في المدخنة بما في ذلك الزيت والماء. وقد قدر شفارتز وزملاؤه ان الزيت قد يحتوي على ٥ μ كو من التريتيوم في كل جالون زيت (وذلك في حالة متفجر ذي ١٠٠ ك ط ينتج ٢٠٠ كو من التريتيوم). وقد قدر تعرض سكان يستخدمون الجاسولين من هذا المصدر على أنه سيكون أقل من ١ر٠ ميللي ريم/سنة أو أقل من ١ر٠٪ من الخلفية. وفي الوصول الى هذا التقدير افترض أن كل الجاسولين المستخدم في حوض لوس انجيلوس من هذا المصدر الوحيد. وعلى ذلك يبدو الاستخدام التجاري الواسع النطاق للزيت المنتج بهذه العملية صالحاً من وجهة نظر الأمان.

وأغلب الاشعاعية الناتجة في التفجير تحتوى داخل الصخر المنصهر وتحبس عندما يتجمد الصخر المنصهر سريعاً بعد التفجير. وتمتص بعض الاشعاعية

الاكثر تطايراً على الدبش في المدخنة. وفي تقدير أي خطر ممكن من حركة المياه الأرضية يلزم أن نأخذ في الاعتبار (١) معدل ذوبان الاشعاعية في المياه الأرضية، (٢) معدل واتجاه حركة المياه الأرضية، و(٣) امتصاص وترسيب الاشعاعية مع حركة المياه الجوفية خلال الصخر. ويلزم أن يجري مثل هذا النوع من التقدير لحوض بسيانس قبل أن يتقدم أي مشروع من هذا النوع على نطاق كبير. وفي ضوء الخبرة السابقة من التجارب المعملية والاعتبارات النظرية يرى ليويس أنه لا يوجد أي سبب لأن نقل الاشعاعية بواسطة المياه الأرضية سيثبت أنه يشكل خطراً غير مقبول في هذه المنطقة.

وبالنسبة لحركة الأرض يعتبر ليويس أن التعجيل المتوقع حوالي ٦٤٪ من ذلك الذي قدر لريوبلانكو عند أي مسافة معينة. فلتفجير من ١٤٠ ك ط في طفل الزيت يتوقع تعجيل قدره ٣ر٠ ج على مسافة حوالي ٥ر٧ ميل ويتوقع تعجيل قدره ١ر٠ ج عند ١١ ميل. وبالتالي فباستخدام الممارسة الجارية فمن المنتظر أن يكون من المطلوب اتخاذ اجراءات احتياطية داخل ١١ ميل من الانفجارات وأن يكون من المطلوب اخلاء الافراد داخل ٥ر٧ ميل. وستكون هذه الاجراءات مطلوبة في أيام الانفجارات فقط. ومن المتوقع ان يحدث ضرر ضئيل للانشاءات داخل ٢٠ ميل. فقد قدر حوالي ٥٠٠٠٠ دولار للضرر من تجربة ريوبلانكو قبل الاطلاق (١٧ مايو ١٩٧٣) وفي الوقت الحالي يظهر أن الضرر الحقيقي سيكون حوالي نصف ذلك الذي قدر. وتكاليف الضرر للتفجيرات في طفل الزيت ينتظر أن تكون أقل كثيراً لأن حركة الأرض يتوقع ان تكون أقل ولأن الانفجارات المتتالية في نفس المنطقة لن ينتج عنها ضرر اضافي كبير.

وعلى عكس الآثار البيئية للمعالجة الحرارية الموضعية النووية فان التعدين والمعالجة الحرارية فوق السطح لطفل الزيت من المنتظر ان تتطلب تمزيقاً ضخماً ودائماً للسطح اما بسبب عملية التعدين نفسها أو لضرورة التخلص من أحجام

ضخمة من مخلفات الصخر الناتجة في العملية. والاستنتاج هو أن التمزق البيئي الناتج من عملية نووية موضعية من المحتمل أن يكون أصغر كثيراً جداً من ذلك الذي يحدث من أي عملية تتطلب تعدين طفل الزيت.

وبالنسبة لتقديرات التكلفة المستقبلية فلن يكون من الممكن التوصل الى تقديرات دقيقة لتكلفة الزيت المنتج بواسطة المعالجة الحرارية الموضعية لطفل الزيت في مداخن نووية الا حينما تطور التكنولوجيا ويجري استعراضها عملياً. وبالرغم من ذلك فمن المرغوب فيه تعيين بنود تكلفة رأس المال والتشغيل الرئيسية في العملية كما هي متصورة حالياً لتوفير الارشاد لقرارات البحث والتطوير التي ستتخذ. ولاجراء ذلك يلزم عمل كثير من الفروض لتعيين أشياء مثل حجم العمليات ومعدل التطوير والانتاج وأسعار بيع الزيت والمعاملة الضريبية لمثل هذه العملية. وفي هذه الدراسة يفترض أنه سيجري اطلاق ٣٢ مدخنة كل عام على أساس ثمانية انفجارات في يوم واحد كل ثلاثة شهور. ويفترض أن التنمية ستأخذ سنة قبل بدء الانتاج مع حدوث الطلقات الثانية الاولى عند ٩ أشهر.

ورأس المال المطلوب للمعالجة الحرارية الموضعية لطفل الزيت باستخدام هذه الطريقة صغير جداً. وتتراوح التكاليف الرأسمالية بين ٧٩ر٠ دولار وبين ٧١ر١ دولار لكل برميل لطاقة الانتاج السنوية أو من ٢٨٨ دولار الى ٦٢٤ دولار لكل برميل لطاقة الانتاج اليومية. والاستثمارات الرأسمالية في الحقول التقليدية الجديدة في الولايات المتحدة حوالي ٥٥٠٠ دولار لكل برميل للانتاج اليومي وفي الشرق الأوسط حوالي ٢٧٥ دولار برميل. وبالقدر الذي تكون به احتياجات رأس المال قيداً على التوسع في توفير الطاقة فان العملية الموضعية مواتية جداً. ونظراً لأن الاحتياجات الرأسمالية منخفضة جداً فان معدل العائد حساس جداً لسعر الزيت أي أن الزيادة الصغيرة في السعر تؤدي الى زيادة كبيرة في معدل العائد. والتكاليف الكبرى هي تكاليف التشغيل.

وتكاليف المعالجة الحرارية للبرميل الواحد ثابتة تقريباً نظراً لأن البند الرئيسي هو تكلفة ضخ الهواء. وتكلفة وحدة تكسير الطفل أو جعله دبشاً بالمتفجرات النووية وتكلفة وحدة السمكرة تحت الأرض (تكاليف الحفر والتغليف) تنقص بسرعة مع زيادة سمك الطفل.

والاستنتاج الواضح من هذه التقديرات هو أن الزيت من المحتمل أن يمكن انتاجه بشكل مربح تماماً عند اسعار الزيت الحالية.

وزيت الطفل من المعالجة الحرارية يشبه البترول ويمكن التعامل معه في منشآت التكرير التقليدية الحديثة مع تغييرات صغيرة فقط في العملية. ولكن محتوى زيت الطفل من النتروجين أعلى من مداه في غالبية الزيوت الخام التقليدية وقد تكون تسهيلات اضافية مطلوبة في منشأة التكرير اذا كان سيجري معالجة قسم كبير من زيت الطفل. واذا استخدمت الهدرجة بالحفز لازالة النتروجين في شكل نشادر فان الكبريت يزال كذلك في شكل يد$_2$ كب ثم يحول الى كبريت. وهذه الطريقة تنقص كذلك من لزوجة زيت الطفل. وهناك اهتمام خاص باللزوجة لأنه قد يكون من الصعب أن يتحرك زيت الطفل خلال خطوط الانابيب نظراً للزوجة العالية. وتتغير اللزوجة وخصائص أخرى لزيت الطفل مع ظروف المعالجة الحرارية. وقد يكون زيت الطفل المنتج بعملية موضعية أقل لزوجة من ذلك الذي يحصل عليه من معوجات سطحية ولكن يتبقى أن يعين ما اذا كانت اللزوجة ستكون منخفضة بقدر كاف للنقل بخط أنابيب بدون معالجة سابقة أو بمعالجة سابقة بسيطة مثل اضافة مضافة لانقاص اللزوجة. وهذا وغيره سيتطلب دراسات معملية وتحليلات وتجارب حقلية في كولورادو ومن الممكن أن تسبق بتجارب تفجير نووي عند موقع اختبار نفادا في صخور شبيهة في بعض النواحي الهامة بطفل زيت كولورادو أي مشابهة له في التركيب الكربوناتي والنفاذية.

ولتطوير المعالجة الحرارية الموضعية النووية للأغراض التجارية فانه بالرغم

من اكتساب خبرة كبيرة بالتفجيرات النووية تحت الأرض فإن هذا التطبيق المتخصص سيتطلب أكثر كثيراً. وبالتحديد سيلزمنا الحصول على خبرة بطفل الزيت لتعيين ارتفاعات المداخن لحصائل تفجير مختلفة عند العمق (<٩١٠) حتى يمكن بناء المعوجة الموضعية لتضارع ارتفاع طفل الزيت. ويلزم فهم نمو الغازات من طفل الزيت قبل وبعد نمو المدخنة بالتفصيل. وبالاضافة يلزم تطوير واختبار نموذج حسابي ملائم يصف ظروف المعالجة الحرارية في معوجة موضعية كبيرة.

ويصل ليويس الى استنتاج أن التطبيق المحتمل يمكن تطويره بدرجة عالية من احتمال النجاح. وان احتياطيات الزيت الموجودة في مكانها والمناسبة لهذه الطريقة بسبب السمك والرتبة تقع في حوض بسيانس كريك بكولورادو ويصل مجموعها الى حوالي ٦٤٠ × ٩١٠ برميل. وتشير التقديرات المستقبلية للتكلفة الى أن سعراً بين ١٫٧٣ دولار و٣٫٠٧ دولار للبرميل من المنتظر أن يكون مطلوباً عند رأس البئر لتحقيق عائد على الاستثمار قدره ٢٠٪. ويجب أن يضاف لذلك تكلفة ازالة الماء وهي أقل يقيناً. فاذا سمح بمبلغ ٠٫٢٥ دولار لازالة الماء فان السعر الذي يحقق عائداً قدره ٢٠٪ من المنتظر ان يتراوح بين حوالي ٢ دولار و٣٫٣ دولار للبرميل أو بين ١٢٫٥ دولار و٢١ دولار للمتر المكعب.

٣ - تقييم التصور النووي الموضعي لانتاج الزيت من طفل الزيت (٩):

قدم التقييم التالي لهذا التطبيق المحتمل.

أ - الوضع التقني:

هذا التطبيق غير مثبت تقنياً. فلم تكن هناك تفجيرات نووية في طفل الزيت. وقد أجريت دراسة جدوى وتصميم مشروع في منتصف الستينات لتجربة أمريكية (مشروع برونكو). وتعطي تجارب معملية على المعوجات

الموضعية المحفزة معلومات عن الميكانيكات الطبيعية والكيميائية التي تحدث أثرها في عملية المعالجة الحرارية. ولا يجري حالياً تطوير مباشر للتكسير الى دبش باستخدام المتفجرات النووية ولكن الجهود مستمرة فيما يخص عملية موضعية معدلة ستكون قابلة التطبيق كذلك في مخططات تكسير الصخر التي تبنى على استخدام تفجيرات نووية. ولقد كان التحليل التفصيلي الوحيد لهذا التصور خاصاً برواسب أمريكية وخاصة تلك الموجودة في حوض بسيانس كريك بكولورادو التي قدر أنها تحتوي على عدة مئات من بلايين البراميل. والمعايير التي أخذت في الاعتبار في ذلك التحليل لاستخدام التفجيرات النووية كانت أن الرواسب يجب أن تكون ذات سمك لا يقل عن ١٣٠ متراً وأن تحتوي على ٨٠ لتراً أو أكثر من الزيت في طن الطفل. وتقريباً كل طفل الزيت الذي يتمشى مع هذه المعايير ان لم يكن كله موجود في حوض بسيانس هذا. وحصيلات التفجيرات النووية التي اعتبرت في الدراسة كانت تتوقف على سمك طفل الزيت وسمك الحمل العلوي. وكان من المتوقع ان يحدث تفجير ذو ١٠٠ ك ط مدخنة نصف قطرها ٥٠ متراً وارتفاعها ٥٢٠ متراً. ويتراوح وقت المعالجة الحرارية من ثلاثة أشهر الى سنة ويتوقف ذلك على ارتفاع المدخنة. وتراوح الاستخلاص المقدر من كل مدخنة نووية بين ٣ر٠ و٨ر٣ مليون برميل. أما على مستوى العالم فان طبيعة ومقدار رواسب طفل الزيت غير معروفة. وهناك رواسب معروفة في البرازيل والاتحاد السوفييتي ولكن لم يقيم امكان تطبيق التفجيرات النووية عليها.

ب ـ الشكوك التقنية:

لا توجد خبرة بالتفجيرات النووية في هذا النوع من الصخور في تكوينات طفل الزيت وبالتالي توجد شكوك في الخصائص المميزة للمدخنة (أي قسم الفراغ والتوزيع الحجمي للدبش وتوليد الغاز والعلاقة بين أبعاد المدخنة وبين الحصيلة) التي ستنتج بتفجير نووي في طفل الزيت وفي احتواء التفجير في

صخر عالي الكربونات نسبياً. وهناك شك كذلك بالنسبة للمسافات المناسبة بين المداخن. ويلزم التأكد من سلامة المدخنة وبالتالي يلزم أن تكون المسافات بشكل يكفي لتفادي تداخل نطاق شروخ مدخنة ما مع مدخنة قريبة. وفي نفس الوقت يجب أن تكون المداخن متقاربة من بعضها لاستخلاص قسم معقول من راسب ما. وتوجد كذلك شكوك متصلة بعملية المعالجة الحرارية وتتضمن هذه الشكوك هبوط الضغط عبر مدخنة سواء قبل أو بعد تقدم المعالجة الحرارية، والمدى الذي قد يعالج به حرارياً نطاق التشريخ حول مدخنة، ووجود توجيه لنطاق الاحتراق في قنوات بما يؤدي الى المعالجة الحرارية لقسم فقط من المدخنة، وحركة نطاق الاحتراق والتحكم في درجة الحرارة. ويترتب على هذه الشكوك وغيرها أن القسم القابل للاستخلاص في التكوين مشكوك فيه. وتوجد شكوك أخرى تتصل بمواصفات الزيت المنتج وتغيرها مع تقدم المعالجة الحرارية من قمة المدخنة الى قاعها؛ الحاجة الى التكرير السابق أو رفع الرتبة لزيت الطفل؛ ازالة مياه تكوينات طفل الزيت والتخلص من الماء وخاصة اذا كان مشعاً كنتيجة لازالة الماء بعد التفجير النووي، الهجرة طويلة المدى للاشعاعية في المياه الأرضية؛ التلوث الاشعاعي للزيت المنتج؛ والهندسة للسمكرة تحت الأرض لحقن الهواء واستخلاص الزيت وخروج عادم الغاز.

جـ - عوامل الموقع الخاصة:

١ - البيانات الجيولوجية مطلوبة لتعيين المصدر والخزان. وهذه تتضمن بيانات عن الصفات الطبيعية والكيميائية والمحتوى المائي للطفل ومادة الحمل العلوي ومحتوى الطفل من الزيت وبيانات مراجعة تفصيلية عن سمك وأعماق كل الطبقات في المنطقة موضع الاهتمام. والبيانات التفصيلية عن المياه الأرضية وتحركاتها الى أعماق أدنى بكثير من تكوين الصخر مطلوبة لتقدير آثار تكوين المدخنة والمعالجة الحرارية على الماء الأرضي والاستخدامات الأخرى للماء الأرضي، والتلوث الاشعاعي

والهجرة التالية للماء الأرضي ، وأثر الماء الأرضي على عملية المعالجة الحرارية ؛ وصلاحية وأثر التخلص من المياه الناتجة من ازالة مياه التكوين ومن عمليات استخلاص الزيت .

٢ ـ البيانات عن السكان والأنشطة في المنطقة مطلوبة لتقدير الأثر الراديولوجي ولتخطيط الوقاية الراديولوجية لكل من التفجيرات النووية وانطلاق الغازات المشعة أثناء فترة المعالجة الحرارية . وهذه البيانات ومعها البيانات عن الانشاءات والمباني ، مثل المناجم لاستخلاص زيت الطفل في المنطقة ، مطلوبة لتقدير الأثر الزلزالي الناتج من الحركة الأرضية الأولية ومن الرفع العام للسطح مع أي استخدام ذي دلالة للتفجيرات النووية في منطقة ما . فمثلا ينتظر رفع السطح بمتوسط حوالي ١٥ متر في الحالة التي يكسر فيها حوالي ٢٥٪ من التكوين الى دبش . ومن المنتظر أن تكون البيانات مطلوبة كذلك عن ممارسات معالجة الزيت وعن أنماط استخدام منتج الزيت لتقدير الأثر الراديولوجي لاستخدام نواتج الزيت وأثر تسويقها .

د ـ معطيات الأمان :

١ ـ التسرب العرضي للنواتج المشعة للتفجير ، الاهتمام بأمر احتواء التفجير نظراً لعمق الدفن الضحل نسبياً وضغط الغاز المتخلف المرتفع من تحلل الكربونات . وصلاحية التطبيق ستتوقف بشكل حرج على التثبت الناجح من اجراءات احتواء يعتمد عليها .

٢ ـ من المنتظر أن تكون الآثار الزلزالية هامة نظراً للحاجة الى منشآت سطحية ذات دلالة قريباً جداً من موقع التفجير والى التفجيرات المتكررة في منطقة محصورة للحصول على أقصى استخلاص للمصدر . والمنتظر أن يؤدي الاخلاء المحدود المؤقت الى استبعاد الأذى للناس .

ويمكن التنبؤ بضرر الانشاءات بالمعرفة الجيولوجية الملائمة بالمعلومات عن الانشاءات.

هـ - المعطيات الصحية:

من الممكن ان يحدث تعرض اشعاعي للجمهور بالقرب من الموقع بتسرب الغاز أثناء عملية العودة ثانية الى المدخنة وأي توهج لغازات المدخنة. والنماذج الحسابية للاستخدام الروتيني الافتراضي للجاسولين المكرر من طفل الزيت تشير الى تعرض فردي منخفض جداً (أقل من ميللي ريم واحد في السنة) للسكان الذين يستخدمون بشكل روتيني الجاسولين المنتج بواسطة هذه التقنية مع استخدام متفجرات منخفضة التريتيوم. ومن الأمور موضع الاهتمام تعرض عمال المنشأة فيما قبل التكرير للانقاض المشعة التي يحملها الزيت المنتج الى السطح.

و - المعطيات البيئية:

ينظر الى التأثيرات البيئية من العمليات الموضعية عامة على أنها أقل أثراً عن بدائل المعالجة فوق السطح. ويمكن أن يشترك تكسير طفل الزيت بالتفجيرات النووية في هذا الوضع. ولكن بعض التأثيرات الفريدة للتفجيرات النووية ستنتج قدراً من الأثر البيئي. ومن بين هذه الآثار البيئية الازاحة السطحية والتأثيرات العارضة في نظم البيئة المحلية والنظم الهيدرولوجية والتخلص من موائع العمليات الملوثة.

ز - عناصر التكلفة الرئيسية:

عناصر التكلفة التالية فريدة للتحطيم الى دبش بواسطة ت ن س:

الخدمات المتصلة بالتفجير النووي؛ ثقوب الموضع للتفجير النووي؛ الضرر الزلزالي أو التأمين والتوثيق والتحكم المرتبطين بالاشعاعية.

وعناصر التكلفة المشتركة مع العمليات الموضعية الأخرى: السمكرة تحت الأرض لحقن الهواء/الغاز والعادم واستخلاص المنتج؛ ازالة الماء؛ وتجهيزات التضاغط والتشغيل.

ح - بعض البدائل الاقتصادية والتقنية:

يمكن تقسيم بدائل ت ن س الى مجموعتين: ١ - عمليات موضعية أخرى. و٢ - تقنيات تتطلب الازالة الطبيعية بتعدين الطفل المضيف والمعالجة التالية في معوجات فوق سطح الأرض. وتتضمن العمليات الموضعية الأخرى الحقن المباشر للبخار أو لغازات ساخنة أخرى في شروخ في الطفل، والاحتراق المباشر للطفل بحقن الهواء خلال تجويفات ثقوب، ومخطط موضعي معدل حيث يحفر حجم فراغ ويستخدم عدد كبير من المتفجرات الكيميائية لانتاج منطقة من الدبش للمعالجة الحرارية. وتتضمن تقنيات التعدين كلا من مشروعات الحجرة والعمود وطرق الحفرة المفتوحة.

ط - مقارنة التكلفة مع البدائل:

ان كافة مقارنات التكلفة والتقديرات تستند حالياً الى التقديرات المستقبلية حيث أنه لا يوجد انتاج على مستوى تجاري للزيت من الطفل بأي عملية. وفي هذا الوقت فان التكاليف المقدرة للمستقبل لزيت الطفل تتراوح بين ٧ دولار و١٥ دولار للبرميل. وعلى وجه العموم فان الطرف الأدنى لهذا المدى متصل بالتقديرات المستقبلية للعمليات الموضعية. وتذكر بعض المصادر ميزة أخرى للتحطيم الى دبش بواسطة ت ن س كنتيجة لعدم الحاجة الى ازالة الطفل طبيعياً في تحضير المعوجة.

ي - عوامل خاصة:

لقد ظهر اهتمام متزايد بتطوير طفل الزيت في السنوات الاخيرة في الولايات المتحدة كنتيجة للتصاعد السريع في أسعار الزيت العالمية وهبوط

انتاج الزيت المحلي التقليدي. والغالبية العظمى من رواسب طفل الزيت بالولايات المتحدة ملك للحكومة وتجري حالياً نشأة سياسية محددة للتأجير. وقد منع هذا العامل الانفاق على تطوير عملية الاستخلاص في القطاع الخاص.

وقد قرر أنه في حالة النجاح فان معدلا من ٣٢ ت ن س في السنة يمكن أن ينتج حوالي ٢٥٠٠٠٠ برميل من الزيت في اليوم. فاذا أخذنا في الاعتبار ضخامة مصادر طفل الزيت المتوفرة في حوض بسيانس بكولورادو فان الاستخدام الناتج للتفجيرات النووية في عملية المعالجة الحرارية لطفل الزيت يمكن أن يحتاج الى عدة آلاف ت ن س على مدى مرحلة طويلة من الزمن (عقود). ونظراً للطبيعة الضخمة للعمليات فان الآثار البيئية لكل من تقنيتي المعالجة الحرارية الموضعية والسطحية ولو أنها مختلفة بعض الشيء في طبيعتها فان من المرجح أن تكون ذات دلالة.

ك ـ الاستنتاجات:

لا يوجد حالياً انتاج تجاري لزيت الطفل. وقد استحثت أسعار الزيت الحالية نشاطاً ذا دلالة لتطوير العملية بدون ت ن س. وهناك شكوك رئيسية في كل عمليات الاستخلاص الموضعي، وبعض الشكوك فريدة للتحطيم الى دبش بواسطة ت ن س. ويبدو أن استخدام ت ن س في المستقبل المرئي غير مرجح ولكنه قد يؤدي الى ميزة اقتصادية ذات دلالة عندما يجري تطوير العملية. وان التطوير النشط للعملية الموضعية المعدلة التي تستخدم التفجيرات الكيميائية ستعطي بيانات قابلة للتطبيق مباشرة على التقنية المبنية على ت ن س.

سابعاً ـ اذابة خام النحاس

لقد درس التصور الخاص بالاذابة الموضعية لخام النحاس في الولايات المتحدة (٨، ٩، ١٠، ٤٥، ٧٨ ـ ٨٠)، ولكن لم تجر أي تجربة نووية لبحثه أو

تطويره. ويوجد في العالم (٧٨) عدد كبير من رواسب خامات النحاس المنخفضة الرتبة والتي تحتوي على كميات كبيرة من النحاس الموزع بتناثر كبير بحيث يكون استخلاص النحاس غير اقتصادي بالوسائل التقليدية بتعدين كتل المغارة أو ازالة الحمل العلوي وتعدين الصب المفتوح. وتوجد هذه الخامات اما كرواسب خام متأكسدة أو ثانوية واما في شكل رواسب خام (كبريتيدات) غير متأكسدة أو أولية مثل الشلكوبرايت والبيرايت. وعلى أي حال فان الغالبية الكبرى لخامات النحاس في الولايات المتحدة توجد كرواسب أولية. وقد قدر مكتب مناجم الولايات المتحدة (م م و م) أن ٩٠٠ مليون طن من النحاس توجد في خامات محتملة تحتوي في المتوسط حوالي ٤ر٠٪ من النحاس في راسب واحد قرب سافورد بأريزونا (٤٥) من بين رواسب أخرى كثيرة منخفضة الرتبة في أجزاء أخرى من الولايات المتحدة. وقد يمكن انتاج النحاس من خامات الكبريتيد منخفضة الرتبة الراقدة في العمق باستخدام الاذابة الموضعية للخام المكسر بواسطة التفجيرات النووية المحتواة تحت الأرض

١ ـ التصور النووي للاذابة الموضعية لخام النحاس:

لقد اقترح مشروع سلوب (٤٥) في عام ١٩٦٧ بواسطة لجنة الطاقة الذرية الأمريكية ومكتب مناجم الولايات المتحدة ومعمل لورانس للاشعاع وشركة كينيكوت للنحاس. وهدف التجربة هو تعيين ما إذا كانمن الممكن انتاج النحاس تجارياً من كومة الدبش التي يخلقها تفجير نووي تحت الأرض. ويدخل في المشروع اطلاق متفجر نووي ذي ٢٠ ك ط على عمق حوالي ١٢٠٠ قدم في راسب نحاس سافورد الخاص بشركة كينيكوت للنحاس. ويحوي الراسب كلا من الخامات الثانوية والاولية في طبقتين. ويتضمن المشروع بناء وتشغيل منشأة للاذابة الموضعية للنحاس واستخلاصه ستصمم في تاريخ لاحق. وقد تنبىء بأن نصف قطر الفجوة وارتفاعها سيكونان حوالي ١٠٠ ، ٤٤٠ قدم بالترتيب.

ويتوقع أن تمتد الزيادة في نفاذية الشروخ المستحثة بالطلقة الى ما بين ٢٥٠ و٣٧٥ قدم خارج حافة الفجوة. ومن المنتظر أن تحوي الفجوة ذاتها حوالي ١٫٣ مليون طن من الصخر المحطم تحتوي على أكثر من ٨ مليون رطل من النحاس. وسوف تحقن السوائل في المنطقة العليا من الفجوة وتستخلص في ثقوب داخلة في قاع الفجوة أو بالقرب منه. ويمرر المحلول في مصنع استخلاص النحاس ثم يعاد حقنه في قمة الفجوة. وعلى أي حال فان مشروع سلوب لم ينفذ ولكن الدراسات للتصور أو المتصلة به قد استمرت مع التركيز على الخامات الأولية (الكبريتيد).

وقد وصف ليويس وزملاؤه (٧٩) طريقة للتعدين الكيميائي الموضعي لخامات الكبريتيد الأولية. ولاذابة الفلز من خامات الكبريتيد الاولية يلزم تكسير الخام للسماح للمحاليل القادرة على اذابة الفلز من الخام بملامسة الخام. وفي الطريقة المقترحة من المنتظر أن تستخدم التفجيرات النووية المحتواة لتكسير الخام. وهذه التفجيرات قادرة على تكسير أوزان ضخمة من الصخر في العمق. وتبنى فجوة الصخر المكسر أدنى بكثير من النطاق المائي ويسمح بامتلائها بالماء سواء بالتدفق الطبيعي للماء الأرضي أو بتحويل ماء سطحي. ويمكن ادخال الاكسجين الى قاع المدخنة من خلال تجويفات ثقوب. وسوف يذوب في الماء مع نفاذه الى أعلى. وقابلية ذوبان الاكسجين في الماء الى أعلى كثيراً تحت الضغط الهيدروستاتيكي منها عند ١ جوي. ويزيد الاكسجين المذاب كثيراً من معدل أكسدة واذابة معادن الكبريتيد الأولية. وتنتج أكسدة كبريتيدات المعادن كمية ضخمة من الحرارة تكون فعالة في رفع درجة حرارة محتويات المدخنة الى درجات حرارة تصل الى ارتفاع مثل ١٠٠ درجة مئوية نظراً للايصالية الحرارية المنخفضة للصخر المحيط بالمدخنة وللنسبة المنخفضة للسطح الى الكتلة بمدخنة كبيرة. والنتيجة النهائية هي الاذابة السريعة للكبريتيدات الأولية تحت ظروف درجات الحرارة العالية ودرجة

الذوبان المرتفعة للاكسجين عند ضغط هيدروستاتيكي عالٍ. ومن المنتظر أن تسحب السوائل من المدخنة خلال تجويفات ثقوب وأن تعالج في مصنع استخلاص بالمذيبات لفصل الفلز ثم تعاد الى المدخنة في دائرة مغلقة. وقد يمكن التحكم في السيل غير المرغوب فيه للسوائل الى خارج أو الى داخل المدخنة من خلال شروخ أو مسارات نفاذة أخرى بالحفاظ على التوازن الهيدروستاتيكي بين المدخنة والصخور المحيطة. وعلى ذلك فان الفجوة سوف تتصرف كوعاء ملائم لهذه العملية حتى ولو ان الصخور المحيطة بالمدخنة قد لا تكون غير نفاذة تماماً.

وقد أجريت التجارب المعملية ونصف الصناعية لدراسة معدل اذابة ولاستخلاص النحاس من الشلكوبرايت والبيرايت. وتشير النتائج الى أنه في استخلاص النحاس من جسيمة خام فان معدل استخلاص النحاس يحدد مبدئياً بواسطة معدل أكسدة حبوب الشلكوبرايت الواقعة عند سطح الخام أو بالقرب منه. ومع استنفاذ هذا الشلكوبرايت الخارجي السهل الوصول اليه على أي حال فان معدل الاستخلاص يصبح بشكل متزايد محدداً بواسطة عمليات الانتشار. ويوضح اختبار جسيمات الخام المذابة في تجارب الاذابة على نطاق صغير أن أكسدة حبوب الكبريتيد تحدث في نطاق للتفاعل يتحرك بانتظام الى داخل جسيمة الخام. وهذا يوحي بنموذج للاستخلاص مبني على كاينيتيكا مختلطة حيث يتوازن بالضبط معدل استهلاك الاكسجين في نطاق التفاعل مع معدل انتشاره خلال الثقوب في القشرة المذابة خارج نطاق التفاعل. وقد اقترح نموذج حسابي مبني على حل تقريبي لمشكلة الكاينيتيكا المختلطة هذه لوصف كاينيتيكا الاستخلاص الكلية كمياً. وقد عوير هذا النموذج ببيانات استخلاص النحاس من تجربة الاذابة على نطاق كبير ومن تجارب اذابة أخرى تدخل فيها كميات أصغر من خام ذي أقطار أصغر. ويمكن استخدام النموذج لتقدير معدل استخلاص النحاس والاستخلاص الاقتصادي النهائي لقيم النحاس في تعدين المحاليل على نطاق كبير.

وفوق ذلك طبق ليويس وزملاؤه نموذج استخلاص السالف في التنبؤ بمعدل استخلاص النحاس من مدخنة افتراضية ذات ١٠٠ ك ط نصف قطرها ٤١ م وارتفاعها ٣٠٠ م عند عمق دفن قدره ٧٥ م وعمق لنطاق الماء قدره ٥٠ م.

وتشير النتائج الحسابية الى ما يلي:

أ - يمكن استخلاص قسم أكبر كثيراً من النحاس الخام ذي الرتبة الأعلى كنتيجة لدرجة الحرارة الأعلى التي تنتج حينما يتوفر وقود كبريتيد بقدر أكبر. والثابت النوعي لمعدل أكسدة الشلكوبرايت يتضاعف تقريباً مع كل ارتفاع في درجة الحرارة قدره ١٠°م.

ب - لرتبة معينة من الخام يمكن زيادة معدل استخلاص النحاس بالتسخين السابق للمدخنة ببخار ذي ضغط مرتفع.

جـ - لرتبة معينة من الخام يكون معدل استخلاص النحاس أعلى للخامات التي تحتوي بيرايت أكثر. وتنتج الزيادة من الارتفاع الاضافي في درجة الحرارة الناتج من أكسدة البيرايت.

د - ان الحد الاقتصادي النهائي لاستخلاص النحاس يتأثر بحجم حبيبات الخام المكسر، فكلما صغر الحجم كلما زاد الاستخلاص.

ويمكن الحصول على نسبة استخلاص تزيد على ٧٠٪ لنسبة بيرايت/شلكوبرايت = ٢ ولاحجام صغيرة للجسيمات.

وانه لمتطلب رئيسي في نجاح تطبيق طريقة التعدين هذه أنه يلزم أن يتحقق محتوى مرتفع نسبياً من الاكسجين الذائب في أقصى ما يمكن من محلول المدخنة. وهذا أمر هام لأن مناطق المدخنة ذات المحتوى المنخفض من الاكسجين الذائب ليس فقط سيكون لها معدل اذابة منخفض للشلكوبرايت بل قد يكون لها كذلك آثار جانبية غير مرغوب فيها مثل استنفاد النحاس الموجود فعلا في المحلول بترسيب الكوفيللايت. وتشير نتائج كل من البحوث

التجريبية والنظرية أنه يمكن الحصول على الذوبان الملائم للاكسجين والدوران المناسب للمحاليل الحاوية للاكسجين حتى في حالة ما اذا استخدم خط مثقب واحد للاكسجين عبر قاع المدخنة. ولكن هذا يتحقق على حساب تنفيس قسم كبير من امداد الاكسجين على شكل غاز غير مذاب يمر الى خارج المدخنة. وان استخدام عدد أكبر من خطوط الامداد بالغاز لا يقلل فقط من قسم التنفيس هذا ولكنه يعطي تأكيداً مضافاً بأنه في حالة قيام مشاكل لدوران المحلول فان قسماً كبيراً من محلول المدخنة سيظل محتفظاً بمحتوى اكسجيني ملائم.

وقد أُجري تحليل اقتصادي للربحية المحتملة للتعدين الكيميائي النووي لخامات النحاس (٨١). ومن المنتظر أن يحتاج جسم خاص افتراضي ذو ٧٠ مليون طن وبمحتوى نحاس٤٥ر٠٪ وعلى عمق بين ٤٠٠ و٧٠٠م الى أحد عشر تفجيراً نووياً ذا ١٠٠ ك ط. وقد تتطلب الدراسات البيئية والتحاليل والحفر وأعمال الموقع عاماً واحداً لاستكمالها. ومن المنتظر أن يحدث بناء المصنع والانفجار الأول في العام الثاني. وبعد ذلك قد يطلق انفجار واحد كل عام. وينتظر أن يبدأ انتاج النحاس في العام الثالث وأن يستمر الى ٤ سنوات بعد آخر تفجير. وعلى ذلك من المنتظر أن يتطلب اتمام المشروع ١٦ عاماً. والعناصر الرئيسية المتصلة بتكلفة رأس المال وتكلفة التشغيل هي مصنع الاكسجين، وصهاريج التخزين، ومصنع الاستخلاص بالسوائل، ومنشأة الحصاد الكهربائي، والسمكرة. وان اجمالي رأس المال والاحتياطي المطلوب يقدر بحوالي ٠٠٠ر١٤٠ر١٣ دولار باستبعاد الحصول على الأرض. ويقدر متوسط المبيعات السنوية بمبلغ ٠٠٠ر٣٦٢ر١٠ دولار عند سعر بيع للنحاس قدره ٤٣ر٠دولار/رطل. وتقدر تكاليف التشغيل بمبلغ ٠٠٠ر٨٧٢ر٣ دولار في السنة. وينتظر استعادة رأس المال المستثمر بما في ذلك رأس المال العامل من الدخل النقدي الصافي عند ٠٠٠ر١٥٧ر٤ دولار في السنة في ١٦ر٣ سنة. وعلى

مدى ١٦ سنة وهي عمر المشروع من المنتظر أن يكون معدل العائد الداخلي للمشروع ٣١٪ .

وقد كان الاستنتاج من هذه الدراسات أن الطريقة المقترحة للتعدين يعتقد أنها صالحة تقنياً ومأمول فيها جداً من الناحية الاقتصادية .

ومن ناحية أخرى فان لجنة الطاقة الذرية الامريكية ومعمل لورانس بليفرمور وشركة كينيكوت للنحاس قد اشتركتا معاً لدراسة جدوى جعل عملية التعدين النووي للنحاس تجارية . وبهدف تعيين الجدوى قاموا بجهد مشترك لتقييم طريقة الاستخلاص بعناية . وقد قدمت بعض أوجه هذا العمل في تقرير لبراون وزملائه (٨٠) . وسنذكر هنا خلاصة لبعض النقاط الهامة في هذا التقرير .

ان برنامج التفجيرات يفرضه شكل جسم الخام ومعدل الانتاج السنوي المرغوب وبرنامج الاذابة وضمان بقاء السمكرة تحت الأرض والتأكد من بقاء المدخنة قائمة . والبيانات الوثيقة الصلة بذلك ما يلي :

أ ـ حصيلة المتفجر : ١٠٠ ك ط .

ب ـ أبعاد المدخنة : القطر ٢٦٥ قدم ، والارتفاع ١١٣٥ قدم ، والحجم ٦ر٥ × ١٠ ^{٧} قدم^{٣} ، وكتلة الدبش ٤٨ر٤ × ١٠ ^{٦} طن ، وحجم الفجوة ٨٥ر٩ × ١٠ ^{٦} قدم^{٣} ، نصف قطر نطاق قذف الشظايا ٢ ميل .

جـ ـ أبعاد جسم الخام : العرض ٢٨٨٠ قدم ، والطول ٢٦٢٠ قدم ، والسمك ١٢٦٨ قدم ، والعمق الى نقطة الاطلاق ٢٦٣٦ قدم ، وعمق نطاق الماء ٣٠٠ قدم ، ورتبة الخام ٥ر٠٪ ، ونوع الخام شلكوبرايت ، ونسبة البيرايت الى الشلكوبرايت ١ ، ونفاذية القالب ١ ميللي دارسي .

ويوضح شكل ١٤ برنامج انفجارات يأخذ في الاعتبار هذه القيود .

والمداخن منظمة في صفوف يوجد ١٠ في كل منها وتقصف كل المداخن في الصف الواحد في وقت واحد تقريباً. وتقصف الصفوف واحداً فواحداً كل ثلاث سنوات كما هو موصوف في البرنامج التالي :

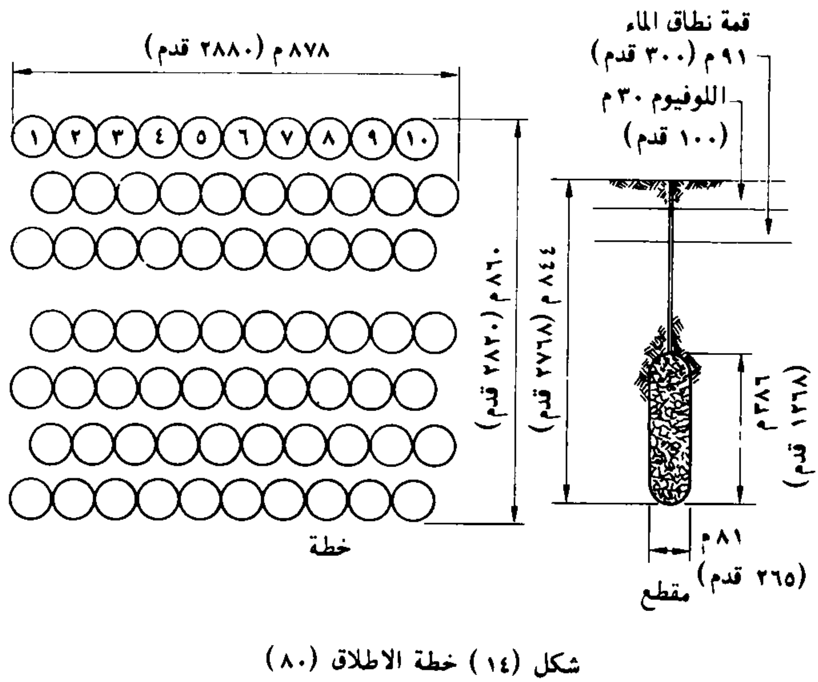
أ - عند وقت الصفر يطلق الصف ١ ؛

ب - بعد ثلاث سنوات يطلق الصف ٢ ؛

جـ - بعد ست سنوات من اطلاق الصف ١ يهجر هذا الصف ويطلق الصف ٣ ؛

د - عند تسع سنوات يهجر الصف ٢ ويطلق الصف ٤ .

ويستمر هذا التوالي الى أن يستنفذ جسم الخام. وقد استخدم برنامج الانتاج التالي لكل مدخنة. فيسمح للمدخنة أولاً بأن تبرد وأن تستقر لمدة ١٣٥ يوماً تالية لاطلاق التفجير. وعند هذا الوقت تملأ المدخنة بالماء. وبعد أن



شكل (١٤) خطة الاطلاق (٨٠)

تمتلىء المدخنة (٣٥ يوماً) تكون جاهزة لحقن الاكسجين. ويكون حمل النحاس في البداية صفراً ولا يرسل أي محلول لمصنع المعالجة أثناء فترة سابقة لدفعات الانتاج تستمر خلال بقية العام الأول.

ويوقف حقن الاكسجين لفترة ٣٥ يوماً في بداية العام الثالث حينما يطلق صف جديد من المداخن، ومن المفروض أن تتوقف الاذابة حين يتوقف حقن الاكسجين. وفي أوقات أخرى قد يقطع حقن الاكسجين لصيانة الأجهزة، سواء المخططة أو غير المخططة. فاذا أخذ في الاعتبار كل توقفات العمل فان وقت الاذابة الفعال على مدى ست سنوات حياة المدخنة هو ١٨١٥ يوماً.

وان أكثر المتطلبات أهمية لمعدل اذابة جيد هو وجود **محتوى عـال** نسبياً من الاكسجين المذاب خلال محلول المدخنة.

وقد يمكن ان تحل مشكلة جعل الاكسجين المذاب يلامس كل اجزاء المدخنة اذا كان تحقيق التشتت الواسع لفقاعات الاكسجين الصاعدة خلال المدخنة كلها امرا تتوفر له الصلاحية. وانه لاسباب اقتصادية لا يمكن ادخال الغاز بشكل متماثل عبر قاع المدخنة. وفي هذه الدراسة حدد نظام ادخال الغاز في ثلاثة خطوط مثقوبة شبه عرضية لادخال الغاز تمتد عبر قاع المدخنة.

وبنظام الادخال هذا يدخل غاز الاكسجين الى قاع المدخنة عند ضغوط أعلى قليلا من الضغط الهيدروستاتيكي. وكلما تصاعدت فقاعات الاكسجين خلال السائل فانها تذوب جزئياً وتحدث لها ازاحة جانبية مع حركتها حول قطع الخام. وحيث أن عمود التشتت الناتج للفقاعات والسوائل (منطقة الفقاعات) أقل كثافة من المائع في المنطقة المحيطة غير المحتوية على فقاعات فان ذلك يستحث سيلا حملياً داخل المدخنة، فيسري السائل في منطقة الفقاعات الى أعلى ويسري السائل في المنطقة غير الحاوية لفقاعات الى أدنى.

والطريقة المقترحة لحقن هذا الاكسجين تتطلب ادارة كميات كبيرة من محلول الاذابة.

وطول الوقت الذي يقضى في اذابة كل مدخنة هو أيضاً عنصر حرج. وبصفة عامة فان فترات الاذابة الاقصر تعطي فترات استرجاع أقصر وبالتالي فهي أكثر اقتصادية. وعلى أي حال فان هناك فعل متبادل حرج بين وقت الاذابة، والامداد الاقصى بالاكسجين، وكيمياء التفاعل، ونسب الاستخلاص. ومثل هذا الفعل المتبادل الداخل لا يمكن تقييمه بعناية في الفترة القصيرة من الزمن المحدد لدراسة الجدوى. وبالتالي فقد كان كثير من القرارات المعينة لبرنامج الاذابة اعتباطياً.

ويلزم تعميم المصنع السطحي لمعالجة السوائل عند معدل الانتاج الأقصى. وبالتالي فان معدلات الانتاج التي تتذبذب لا تستخدم المعدات بكفاءة. وفوق ذلك فان المصنع السطحي قسم رئيسي من اجمالي رأس المال المستثمر ويجب استخدامه بفاعلية ليعطي اقتصاديات مرضية. لذلك يلزم أن تتلاءم جميع البرامج مع بعضها لانتاج رقم ثابت من أطنان النحاس في كل عام من التشغيل.

ومعدل الانتاج السنوي يحدده حمل النحاس النهائي في المدخنة وعمر المدخنة وأطنان النحاس التراكمية التي يمكن اذابتها على مدى عمر المدخنة. فاذا حدد حمل النحاس النهائي عند ٤ر٦ جم/لتر فان معدل الانتاج في مصنع التبادل الأيوني السائل سيكون ٤٢٨٠٠ طن/سنة. وهذا يتطلب سيلا جديداً الى مصنع العملية قدره ٤ر١٧ م^{٣}/ دقيقة.

والدراسات الاقتصادية للاذابة الموضعية للرواسب المحطمة نووياً الى دبش لها هدفان أساسيان:

أ - لتأكيد ما اذا كانت هذه الطريقة اقتصادية واقعاً للرواسب العميقة؛

ب - لتعيين الحساسية الاقتصادية لهذه التكنولوجيا للبرامترات الرئيسية للجيولوجيا والعمليات والتكلفة.

وبعد دراسة الربحية والحساسية الاقتصادية تصل هذه الدراسة الى استنتاج أنه في الوضع الحالي لتطور هذه الطريقة لا يمكن تعيين ربحيتها. والدراسات والتقديرات تعين فعلاً عوامل اقتصادية هامة، وتشير الى مجالات حرجة لعمل اضافي، وتسمح بتقييم أجسام الخام من حيث امكان تطبيق هذه الطريقة. فاذا أجري عمل اضافي واذا انتهى بالنجاح فسيكون الاستخلاص الاقتصادي للنحاس ممكناً من رواسب لا يمكن استغلالها بربح بأي طريقة أخرى.

ويدخل في جوانب الأمان للتعدين النووي للنحاس الأمان الراديولوجي والحركة الأرضية وقد استعرضها ليويس وزملاؤه (٧٩) كالآتي: بالنسبة للاشعاعية لا يوجد نظير مشع للنحاس في المنتج والنظائر المشعة الوحيدة التي تتابع النحاس هي الروتينيوم - ١٠٦ والروتينيوم - ١٠٣. وعلى أي حال يتم فصل هذه النظائر بالكامل تقريباً من النحاس في مرحلة الحصاد الكهربائي وذلك وفقاً لما أوضحته التجارب.

ويمكن أن تخلق الاشعاعية احتمال مخاطر بأربعة طرق: (١) التنفيس غير المتحكم فيه أو النز في وقت الانفجار، (٢) التلوث الجوي بالاشعاعية الغازية المحمولة مع الغازات الخارجية من الاكسجين وك أ$_2$ أثناء الاذابة، (٣) تعرض العاملين لمحاليل الاذابة الملوثة، و(٤) تلوث الماء الأرضي. وان احتمال تسرب الاشعاعية أثناء التفجيرات قد قدر بأقل من ٠٠١ر٠ تأسيسا على ذلك القسم من خبرة الاختبارات النووية الماضية التي قدرت مشابهته. ولكن بأي قدر هو أقل من ذلك فهذا غير معروف حيث أنه لم يحدث أن أي تنفيس صاحب اختبارات التفجيرات الامريكية الثمانين ذات الحصائل المشابهة ولو أنها كانت مدفونة عامة عند أعماق أضحل وفي صخور أضعف من المقترحة

لهذا التطبيق. ومع ان احتمال التسرب العرضي للاشعاعية منخفض جداً فان النتائج المترتبة على مثل هذاالتسرب تكون دائماً موضع الاعتبار. ويجب دائماً ضمان طرق التأكد من أمان الجمهور الذي قد يتأثر. وهذه الطرق مفهومة جيدا وتختلف باختلاف الموقع والخصائص المميزة لأي موقع معين.

والنوع الثاني للتعرض الاشعاعي يحدثه تسرب الكربتون المشع والتريتيوم التي تتسرب مع الغازات الخارجة. وهذا يؤدي الى تعرض اشعاعي صغير جداً في اتجاه الريح ووجد بالحساب أنه أقل من ٠٫٠١ من الخلفية الاشعاعية الطبيعية عند ١ كم في اتجاه الريح في مدخنة اطلاق الغازات.

والنوع الثالث من مخاطر الاشعاع يدخل في المعالجة السطحية لمحلول الاذابة الحامل. فتذاب كميات صغيرة من النويدات المشعة المترسبة على سطوح الخام المشرخ وفي الخام المنصهر بالتفجير. وتنتج الكميات المحتواة في هذه المحاليل حقولا اشعاعية خارجية في مصنع المعالجة السطحي تشابه تلك التي تلاحظ في مطاحن اليورانيوم والتي يمكن التحكم فيها بسهولة بتدريع ضئيل. ويعاد ادارة هذه المحاليل الى المدخنة بعد استخلاص النحاس. ويمكن الامساك بالكميات الصغيرة من التريتيوم وغاز الكربتون بالمصنع داخل مستويات آمنة بممارسة جيدة للتحكم في المحاليل وبالتهوية الملائمة.

وأخيراً فقد فحص الخطر من التلوث الاشعاعي لامدادات المياه الأرضية. فالاذابة الموضعية لن تجري في مناطق ذات حركة عالية للمياه الأرضية. وفوق ذلك فان فاقد المحلول من مدخنة نووية أثناء الفترة النشطة للاذابة يتحكم فيه بالحفاظ على التوازن الهيدروستاتيكي بين المدخنة وما يحيط بها وذلك لمنع هجرة المحاليل التي تحوي النحاس ونويدات مشعة. وبعد ايقاف العمل في موقع، حتى ولو حدثت بعض الهجرة لمحلول من المدخنة، فان الخطر بسبب الكمية الصغيرة من النويدات المشعة في المحلول ينتظر أن يكون صغيراً بسبب الامتصاص فوق سطوح الصخر أثناء حركة الماء الأرضي.

وبالنسبة لحركة الأرض فانه يمكن التنبؤ بدقة كبيرة بتأثيرات الصدمة على انشاء معين على مسافة معينة من تفجر ما وذلك من الخبرة بتأثيرات الصدمة الأرضية من التفجيرات النووية التي أجرتها لجنة الطاقة الذرية الامريكية. فالصدمة الأرضية من انفجارت ذات ١٠٠ ك ط ستحدث ضرراً معمارياً الى مدى بضع كيلومترات. واحتمال تشقق المباني عند بعد ٢٥ كم حوالي ٠٠١ر٠ للمبنى، وفرصة وقوع الضرر على بعد ٦٥ كم أو أكثر صغيرة جداً. وعلى ذلك فان أجسام الخامات المختارة للتعدين الكيميائي النووي يجب أن تكون في مناطق ضئيلة السكان تبعد أكثر من ٦٥ كم من مناطق المدن. ويمكن تصميم تسهيلات المصنع بحيث تتحمل الصدمة الأرضية اذا كانت تقع على بعد ٥٠٠ متر على الأقل من السطح الذي يعلو جسم الخام.

وبخلاف طرق التعدين التقليدية الحالية لا يوجد في الاذابة النووية للنحاس حفرات مفتوحة أو مقالب لمخلفات المناجم أو برك لسوائل النفايات أو أكاسيد كبريت منتجة وبالتالي فالخطر أقل في تلوث الماء السطحي.

فالمخاطر من كل من الاشعاعية والحركة الأرضية صغيرة جداً بشرط أن تختار أجسام الخامات بقدر من الحيطة. وتقديرات التكلفة البيئية للمجتمع عندما تستخدم هذه الطريقة أقل من ١ر٠ من التكلفة البيئية التقليدية للحفرة المفتوحة ـ التعويم ـ التحميص واستخلاص النحاس بالتكرير الناري.

٢ ـ تقييم التصور النووي لاذابة خام النحاس:

لقد قدم التقييم التالي لهذا التصور (٩).

أ ـ الوضع التقني:

استخدام التفجيرات النووية لهذا التطبيق غير مثبت تقنياً. فلم تكن هناك تجارب نووية.

وقد درس هذا التطبيق في الولايات المتحدة الأمريكية. وعالجت دراسة حديثة استخلاص النحاس من رواسب بورفير لخامات كبريتيد أولية تقع تحت نطاق الماء. وفحصت الدراسة برنامجاً لعشر مداخن باستخدام تفجيرات ذات ١٠٠ ك ط كل ثلاث سنوات، ومرحلة اذابة من ست سنوات لكل مدخنة، وانتاجاً سنوياً من النحاس قدره ٤٠٠٠٠ طن من رواسب تحتوي على ٥ر٠٪ نحاس. وقد دريست الجدوى التقنية للتصور باستخدام التحليلات النظرية والبيانات المعملية والبيانات الحقلية.

ب ـ الشكوك التقنية:

تتصل الشكوك التقنية المرتبطة بهذا التطبيق بما يلي:

١ ـ حساسية عملية الاستخلاص لتركيب الخام وللتغيرات في التركيب.

٢ ـ صفات المداخن في أجسام خام بورفير بما في ذلك أبعاد المداخن وتوزيع أجسام الجسيمات الذي يؤثر في دوران محلول الاذابة في المدخنة ومتطلبات الاكسجين؛

٣ ـ متطلبات حقن الاكسجين وفقدان الاكسجين من نظام الحقن؛

٤ ـ الدرجة التي يمكن بها الحفاظ على دوران مناسب لسائل الاذابة في المدخنة؛

٥ ـ الدرجة التي يمكن بها أن تذاب الاشعاعية وأن تنقل في عمليات المعالجة السائلة؛

٦ ـ المدى الذي يمكن معه الحفاظ على درجة حرارة محلول الاذابة وتدرج درجة حرارته في المدى المرغوب فيه؛

٧ ـ معامل استخلاص النحاس كدالة للزمن.

جـ ـ عوامل الموقع الخاصة:

١ ـ البيانات التفصيلية مطلوبة عن التركيب الكيميائي للخام ومحتواه من

الكربونات وعن عمق رواسب الخام ومداها لتعيين الراسب وتقدير جدوى استخراجه والتخطيط لذلك. وهذه البيانات مع بيانات عن مادة الحمل العلوي مطلوبة كذلك لتقدير احتواء التفجيرات النووية. والبيانات مطلوبة عن كل المياه الأرضية في المنطقة وعن تحركاتها. وهي مطلوبة لتقدير الملاءمة التقنية للراسب لهذا الاتجاه (ماء مناسب لملء المداخن والتأكد ضد الفقد الزائد لمحلول الاذابة عن المداخن)، ولتقدير التلوث الاشعاعي للماء الأرضي وهجرته.

٢ ـ البيانات عن السكان والانشطة والانشاءات والمباني المتصلة بها مطلوبة لتقدير الأثر الزلزالي في المنطقة على وجه العموم والاثر الزلزالي على التسهيلات السطحية الداخلة في استخلاص النحاس، ولتخطيط أي اخلاء ولتقدير الاثر الراديولوجي وللتخطيط الوقائي. ويجب تحديد أنماط استخدام واعادة استخدام النحاس المنتج لتقدير أثر وجود كميات صغير من الاشعاعية في النحاس.

د ـ معطيات الأمان:

١ ـ احتواء الاشعاعية أثناء التفجير: يجب تخطيط التفجيرات على أعماق كافية لتوفير الضمان لاحتواء الاشعاعية مع أخذ الأوضاع الجيولوجية في الاعتبار. فاذا حدث نز لنواتج تفجير غازية فعندئذ يتوفر مقدرة استجابة قابلة للاستخدام يكون تعرض الجمهور صغيراً جداً.

٢ ـ أمان العاملين في مصنع المعالجة: من المرجح أن يكون التريتيوم النويدة الحرجة للتعرض في حالة العاملين بالمصنع. لذلك يرى استخدام تفجير منتج للحد الادنى من التريتيوم.

٣ ـ الآثار الزلزالية: يلزم اعطاء العناية لامكانية الضرر الزلزالي

للانشاءات. والضرر يمكن التنبؤ به بشرط توفر المعرفة الملائمة للجيولوجيا.

هـ - المعطيات الصحية:

التعرض الاشعاعي للجمهور بالقرب من موقع التعدين الكيميائي النووي قد يكون ممكناً بتسرب الغاز اثناء الدخول ثانية للمدخنة، وبالنويدات المشعة التي تحملها غازات المعالجة الهاربة الى الجو، وبالاشعاعية التي يمكن أن تدخل في المياه الأرضية في المنطقة القريبة بالتخلص من محاليل الاذابة المتخلفة أو بتسربها.

و - المعطيات البيئية:

ان النحاس المنتج قد يدخل نحاساً يحتوي على آثار من الاشعاعية في رصيد العالم من هذا الفلز.

ز - عناصر التكلفة الرئيسية:

ان عناصر التكلفة الرئيسية في استخدام ت ن س لاذابة النحاس هي: الخدمات المتصلة بالمتفجر النووي؛ ثقوب الموضع للمتفجرات النووية؛ الضرر الزلزالي أو التأمين؛ والتوثيق والتحكم في الأمان الاشعاعي. وعناصر التكاليف المشتركة مع عمليات الاذابة الموضعية الأخرى هي: خطوط الانابيب؛ المصانع السطحية (بما في ذلك مصنع الاكسجين)؛ تكاليف التشغيل؛ والمصنع السطحي لمعالجة سائل الاذابة.

ح - الطرق البديلة:

العمليات الموضعية التي لا يدخل فيها ت ن س تلقى الاهتمام كذلك ولكن لم تكن هناك بيانات متوفرة عنها.

ط ـ مقارنة التكلفة مع البدائل:

البيانات لمقارنة التكلفة للحالة التي نناقشها غير متوفرة لأي تكنولوجيا بديلة. ودراسة الحالة المرجعية توحي بأنه اذا أمكن حل الشكوك التقنية الكثيرة بشكل مرض فقد يمكن انتاج النحاس بسعر مشابه لسعر الانتاج التقليدي الحالي.

ي ـ عوامل خاصة:

تستهدف التقنية المقترحة انتاج ١٠٠ طن من النحاس لكل كيلوطن من حصيلة التفجير من رواسب منخفضة الرتبة وتقع في العمق. ولقد اتجهت غالبية الاستكشافات الجيولوجية حتى الآن نحو اكتشاف رواسب قريبة من السطح تكون عرضة لتعدين الحفرة المفتوحة. وان نجاح تقنية ت ن س المقترحة من المنتظر أن يقدم حافزاً لاستكشافات جيولوجية أخرى للرواسب العميقة المنخفضة الرتبة. والعوامل الخاصة في عمليات التعدين تحت الأرض تتضمن المخاطر الصحية (الحرارة والرطوبة والتراب والتسمم السيليكي وتفجرات الصخر) التي تصاحب الاستغلال عند الاعماق الاكبر. وعلى ذلك فان الطريقة التي قد تستطيع أن تحل محل ضرورة العمل تحت الأرض بالتحكم من البعد من السطح بينما تترك الصخر المتخلف تحت الأرض جديرة بالاعتبار الكامل. وهناك امكانية وجود كميات ضئيلة من الاشعاعية في النحاس المنتج وهو أمر يلزم أخذه في الاعتبار عند دراسة امكانية تسويق النحاس لبعض الاستخدامات.

ك ـ الاستنتاجات:

ان تقنية ت ن س المقترحة تخص رواسب خام النحاس الواقعة في العمق وذات المرتبة المنخفضة، والتي لم ينشر عن تعدينها بالطرق البديلة. وانه ولو أن عدداً كبيراً من التفجيرات النووية قد أجريت في الصخر الصلب وساهمت

ببيانات عن تأثيرات التفجير في مثل هذه الاوساط ، فانه لم تجر أي تفجيرات نووية لتوفر اختباراً للشكوك التقنية الكثيرة الخاصة بهذا التطبيق. ولقد كان هناك عدد من الدراسات النظرية والمعملية.

ثامناً - التخلص من المخلفات المشعة

لقد درس تصور استخدام الفجوات أو المداخن النووية في التخلص من المخلفات المشعة في الولايات المتحدة الامريكية (٨ ، ٩ ، ١٠ ، ٧٨) ولكن لم تجر أي تجربة ت ن س لدراسة هذا التصور. وان هدف هذا التطبيق هو أن تعزل بشكل دائم المخلفات المشعة عالية المستوى من المحيط الحيوي بالتخلص النهائي منها في فجوات أو مداخن نووية محتواة تحت الأرض.

وقد اشار نورديك (١٠ ، ٧٨) الى أنه بازدياد عدد وحجم محطات القوى النووية في العشرين الى الثلاثين سنة المقبلة فان كميات مواد المخلفات المشعة الناتجة من اعادة معالجة وحدات وقود المفاعلات ستصل الى أحجام ضخمة. فقد قدر بالنسبة لحالة الولايات المتحدة أن معدل اعادة المعالجة سيرتفع من حوالي ١٠ طن/يوم في ١٩٨٠ الى حوالي ٥٠ طن/يوم في عام ٢٠٠٠. وبالتالي فانه في نفس الفترة سترتفع كمية سوائل المخلفات عالية المستوى من $١٠^{٦}$ جالون/سنة الى ٥ × $١٠^{٦}$ جالون/سنة وسترتفع كمية المخلفات المنخفضة والمتوسطة من ٢ر١ × $١٠^{٧}$ جالون/سنة.

والتخلص من المخلفات المشعة عملية عالية التكلفة. ونظراً لقدرة المخلفات في توليد الحرارة ولتركيبها الكيميائي فانها يمكن أن تصبح خطيرة جداً اذا لم يدبر أمرها بشكل ملائم. وفي الولايات المتحدة يدخل في المعالجة الحالية للمخلفات مرتفعة المستوى التخزين على هيئة سائل لمدة خمس سنوات، ويتلو ذلك التجميد والاغلاق باحكام، ثم خمس سنوات تخزين اضافية، وبعد ذلك التخزين طويل المدى في مستودعات تحت الأرض. وقد درست طرق مختلفة

للتخلص وكلها تقود في النهاية الى الدفن العميق للمخلفات تحت الأرض. وتتضمن هذه الطرق حقن الموائع أو المخاليط الأسمنتية بأسلوب البئر العميق في تكوينات نفاذة، والانقاص الى صلب ثم الاحراق والتخزين طويل المدى في مستودعات تحت الأرض. والحقن بأسلوب البئر العميق يتطلب وجود موقع مناسب حيث توجد نفاذية كافية لتقبل المخلفات ولكن حيث يكون الماء الأرضي ذا معدل هجرة منخفض. ويلزم بعد ذلك أن يوضح أنه ولو أن الماء والمخلفات لن تتحرك فانها لن تدخل ثانية الى المجال الحيوي لمئات عديدة من السنين. وانه لمن الصعب اكتشاف مثل هذه المواقع، واثبات أمانها عملية مكلفة ومستهلكة للوقت. أما الانقاص الى صلب والتخزين طويل المدى فتستغرق سنين كثيرة وهي مكلفة جداً في المعالجة والنقل وحفر الاحجام تحت الأرض.

١٠ - تصور التخلص من المخلفات المشعة باستخدام ت ن س:

تحت ظروف معينة يقدم التخلص من المخلفات المشعة السائلة عالية المستوى في مداخن أو فجوات تنتجها التفجيرات النووية في تكوينات غير نفاذة عدداً من المزايا المحتملة (٧٨). ففي صخر غير نفاذ مثل الصخر البركاني أو الميتامورفي أو الطفل أو الصخر الرملي غير النفاذ يمكن أن تنقص هجرة المخلفات المشعة بشكل كبير أو ربما يمكن التخلص منها. ومثل هذه المواقع اكثر شيوعاً جداً من المواقع النفاذة التي يتطلبها الحقن. وبالاضافة فان اختبارات التضاغط يمكن استخدامها لاختبار سلامة المدخنة أو الفجوة قبل ادخال المخلفات.

والتصور موضع الدراسة حالياً موضح في شكل ١٥. ومن المنتظر أن يطلق متفجر ذو حصيلة منخفضة نسبيا على عمق بضع آلاف الأمتار في طبقة سميكة من الصخر بجوار مصنع اعادة المعالجة مباشرة وقبل بنائه (٨). وينتظر أن



شكل (١٥) التخلص من المخلفات المشعة (٧٨)

تحقن مباشرة المخلفات السائلة عالية المستوى وربما أيضاً المخلفات منخفضة المستوى في الفجوة مع اعادة دورة ماء تبريد بقدر كاف للحفاظ على درجة حرارة الفجوة منخفضة لحفظ المخلفات تحت درجة حرارة انصهار أو تغير شكل الصخر. وبعد ذلك يسمح للمخلفات عالية المستوى بالغليان. وينتظر أن يعالج ويرشح الماء والغازات النادرة على السطح ثم تهوي (٧٨). وتضاف مخلفات مشعة اضافية الى أن يمتلىء القسم الاعظم من حجم الفجوة بالمواد الصلبة (٨). ثم يسمح للمدخنة أن تغلي حتى تجف ثم تغلق ثقوب الادخال والتهوية باحكام. والمنتظر أن تصهر الحرارة التي تولدها المخلفات المشعة الصخر المحيط الذي يذيب بدوره المخلفات. وبعد عقود كثيرة ينتظر أن يتجمد الصخر ثانية حابساً الاشعاعية في قالب صخري غير قابل للذوبان

فيوفر بذلك تخلصاً دائماً. وقد يكون اتجاه آخر باستخدام الفجوة للتخلص من المخلفات عالية المستوى المتجمدة والمتراكمة والمنقولة الى موقع التخلص وذلك بالحقن في شكل طين رقيق القوام (٩).

ونظراً للحجم الصغير نسبياً للمحتوى الصلب لمثل هذه المخلفات مرتفعة المستوى فان حصيلة صغيرة نوعاً ما (> ١٠ ك ط) ينتظر أن توفر حجماً كافياً للتخلص. ومثل هذه التقنية، في حالة نجاحها، ينتظر ان تكون بشكل ذي دلالة طريقة للتخلص أسرع وأرخص وأكثر أماناً بطبيعتها من الطرق الاخرى التي جرت دراستها (٧٨). ويعتبر ويلسون (٨) أن التصور يقدم مزايا بيئية ذات دلالة فوق الطرق الجارية. فالمنتظر أن تزال المخلفات من المحيط الحيوي سريعاً بعد المعالجة الكيميائية للوقود وتربط بصفة دائمة في قالب صخري عميقاً تحت الأرض. وأكثر من ذلك يمكن أن تدخل المخلفات المتوسطة والمنخفضة بلا غرامة اقتصادية وذلك بدلا من تخفيفها وتشتيتها في البيئة. وتوحي الحسابات الاولية أن التكاليف يمكن أن تكون أدنى بشكل ملموس من تكاليف تقنيات التخلص الحالية. ويلزم التنويه بأن هذه التقنية لا يمكن استخدامها في كل مكان وليس من المنتظر أن تكون مناسبة لكل أنواع المخلفات المشعة (٧٨). وبالاضافة فمن المطلوب دراسات أكثر كثيراً قبل أن تحلل جميع جوانب هذه التقنية. وعلى أي حال فان الميزات الضخمة لهذه الطريقة للمخلفات عالية المستوى في بعض المواقف وحقيقة أنها ينتظر ان تؤدي الى تخلص «دائم» فعلاً تجعل استمرار دراسة هذا التطبيق أمراً مرغوباً فيه.

وان التقييم عن طريق مشروع نموذجي أولي قد يستغرق سنوات كثيرة (٨). فاذا كان التصور ذا مناسبة أكثر استعجالا فيلزم حل أي شكوك بمحاكاة المراحل المختلفة للعملية. وامكانيات مثل تكوين مناطق متمركزة ذات درجات حرارة عالية جداً بسبب انسداد المدخنة بالمخلفات المتجمدة يمكن

أن تكون لها معطيات أمان هامة. ورغم ذلك فان المزايا المحتملة للتصور من نوع يجعله جديراً بالدراسة العاجلة.

٢ ـ تقييم تصور التخلص من المخلفات المشعة:

لقد قدم التقييم التالي لتصور التخلص من المخلفات المشعة في فجوة/مدخنة نووية (٩):

أ ـ الوضع التقني:

الصلاحية التقنية غير مثبتة. فلم يجر سوى القليل خارج دراسة التصور التي أجريت في الولايات المتحدة الامريكية. والخبرة العامة في بناء الفجوات باستخدام متفجرات نووية منخفضة الحصيلة من المحتمل ان تكون كافية للسير بأعمال التطوير حول هذا التطبيق. ولكن توجد خبرة صغيرة وثيقة الصلة فيا يخص ظاهرية وهندسة حقن المخلفات وغليان المخلفات وانصهار الصخر بالمخلفات وتصلبه ثانية.

ب ـ الشكوك التقنية:

تدخل شكوك رئيسية حول التفاعلات الطبيعية والكيميائية التي قد تحدث في الفجوة نتيجة لحقن المخلفات. وهي نقل البخار للنويدات المشعة أثناء طور الحقن أو على طول شروخ الصخر؛ الهندسة لحقن المخلفات وتبريدها؛ امكان عدم استقرار الفجوة/المدخنة من حيث أنها تؤثر في السمكرة تحت الأرض؛ اتساق المخلفات ـ الصخر المنصهر؛ واستعداد النويدات المشعة للاذابة من كتلة الصخر التي تجمدت ثانية.

جـ ـ عوامل الموقع الخاصة:

١ ـ البيانات التفصيلية عن صفات الصخر والتركيب الكيميائي وتصدع تركيب الموقع ينتظر أن تكون مطلوبة لتقدير ملاءمة الموقع.

٢ ـ البيانات عن أي مياه تحت الأرض الى مستويات أدنى من الفجوة مطلوبة لتقدير امكانية الاذابة النهائية للمخلفات والهجرة طويلة المدى للمياه الملوثة.

٣ ـ البيانات عن السكان والانشطة في المنطقة مطلوبة لتخطيط الوقاية الراديولوجية ولتقدير الأثر الزلزالي. وحيث أن هذا التطبيق من المنتظر أن تدخل فيه التفجيرات النووية منخفضة الحصيلة فقط فان القيود الزلزالية ستكون اقل قسوة منها في التطبيقات الأخرى. ومن المحتمل أن تكون المتطلبات لاختيار موقع مصنع اعادة المعالجة أو للنقل والتعامل مع المخلفات عالية المستوى أكثر تعقيداً.

د ـ معطيات الأمان:

ان آثار الحركة الأرضية أقل نوعاً ما عنها في التطبيقات الأخرى للتفجيرات النووية للأغراض السلمية نظرا للاحتياجات ذات الحصائل المنخفضة (٥ ك ط مثلا). وموضع المتفجر ينتظر أن يكون أعمق من المطلوب للاحتواء. وبالتالي فان اي تسرب عرضي لنواتج مشعة للانفجار من المنتظر أن يكون محدوداً في نز الانقاض الغازية والتسرب عند الدخول ثانية. وينتظر أن تكون أكبر اعتبارات الأمان تلك التي تتصل بتشغيل دورة منشأة المخلفات عالية المستوى وخاصة البخار المشع.

هـ ـ المعطيات الصحية:

ينتظر أن تكون الاشعاعية الناتجة من التفجير النووي السلمي تافهة في كميتها بالمقارنة مع المخلفات المشعة التي تحقن بعد ذلك. والاضافة الوحيدة ذات الدلالة ينتظر أن تكون تسرب كميات صغيرة من الاشعاعية الغازية عند الدخول ثانية الى الفجوة والتي قد تؤدي الى تعرض محلي صغير جداً.

وان الكميات الكبيرة للغاية من المخلفات المشعة عالية المستوى التي ستوضع

في الفجوة تحتاج الى دراسة تفصيلية لكل أطوار العملية للتأكد من انعزال المخلفات عن المحيط الحيوي.

و - المعطيات البيئية:

ان التخلص من المخلفات عالية المستوى بهذه الطريقة سيستبعد استرجاعها بعد ذلك. وعلى ذلك يجب أن تكون هناك درجة عالية جداً من التأكد من أن المخلفات ستبقى معزولة بقدر كاف عن البيئة السطحية ومصادر المياه بشكل دائم أساساً. وينتظر أن تكون الاعتبارات البيئية الأخرى تلك التي تتصل بتشغيل منشأة المخلفات عالية المستوى وخاصة الحاجة للتعامل مع كميات كبيرة من البخار المشع بطريقة آمنة بيئياً.

ز - عناصر التكلفة الرئيسية:

التكاليف الرئيسية الفريدة لبناء فجوة ت ن س هي الامداد بالخدمات المتصلة بالمتفجر النووي والحفر واجراءات الأمان. والتكاليف المشتركة بين البناء التقليدي والبناء بواسطة ت ن س تتضمن التسهيلات للتعامل مع المخلفات وحقنها واعادة دورة مياه التبريد والرقابة والتحكم.

ح - بعض البدائل التقنية والاقتصادية:

وقد يكون البديل لفجوة ت ن س فجوة محدثة تقليدياً أو تجويفات ثقوب عميقة وذات قطر كبير. والطريقة المفضلة حالياً للتخلص من المخلفات عالية المستوى هي وضع علبة المخلفات المجمدة في فجوات ملح مستخرج. والبدائل الاخرى التي ذكرت تشمل التخلص في قاع البحر العميق خارج الأرض والتخلص في قمة الجليد القطبي، وادخال دورات وقود نووي بديلة قد تدخل اتجاهات لادارة المخلفات مختلفة عن تلك المتصورة حالياً.

ط ـ مقارنة التكلفة مع البدائل:

يشير التحليل الأولي الى أن التخلص المباشر في فجوة مرتبطة بمصنع اعادة معالجة ينتظر أن يكلف حوالي ١/٤ الى ١/٦ من تكلفة تجميد المخلفات ثم التخلص منها في فجوة ملح مستخرج. واستخدام فجوة ت ن س للتخلص بعد تجميد المخلفات والتخزين السطحي المؤقت من المرجح أن يكون أكثر تكلفة من استخدام منجم غير مستعمل أو فجوة أخرى قائمة. وأنه لمن المشكوك فيه ما اذا كانت ت ن س ستوفر أي ميزة اقتصادية في هذا التطبيق على حفر الفجوات بالطرق التقليدية.

ي ـ عوامل خاصة:

هذه الطريقة تسمح بالازالة المباشرة للمخلفات المشعة من المحيط الحيوي ويمكن أن تزيل عدة خطوات للتعامل والنقل مع اخطارها الموافقة من جانب ذيل دورة الوقود. وهذه الطريقة بالطبع تستبعد أساساً امكانية استرجاع المخلفات. ويوضح حساب أن ١٠ الى ٢٠ تفجيراً منخفض الحصيلة (تعطي حجم فراغ حوالي ٥ × ١٠^٣ م^٣) يمكن أن تكفي للتعامل مع أغلب مخلفات العالم عالية المستوى للعقود العديدة المقبلة، ولكن ما اذا كانت اعادة المعالجة ستتم أم لا تتم على النطاق المتصور في هذا الحساب أمر لا يزال مشكوكاً فيه.

ك ـ الاستنتاجات:

لم يجر سوى عمل صغير خارج مرحلة التصور وهناك شكوك رئيسية تتصل بهذه التطبيقات. ودراسة التصور الذي يستخدم فجوات مبنية تقليدياً قد تكون قابلة للتطبيق على استخدام ت ن س.

تاسعاً ـ تطبيقات أخرى محتواة

بالاضافة الى التطبيقات المحتواة سالفة الذكر والتي حللت ببعض التفصيل

يوجد عدد من تطبيقات محتواة أخرى مقترحة والمتوفر من المعلومات بالنسبة لها محدود جداً. وبالتالي سنصفها في تعليقات مختصرة.

١ - تخزين الطاقة:

يشير تقرير (٩) المجموعة الاستشارية المختصة الى أن احدى طرق مواجهة طلبات الذروة من الكهرباء أن يستخدم فائض القوى الكهربائية في غير وقت الذروة في ضغط الهواء في قاعة تخزين كبيرة. وأثناء فترات طلب الذروة يخلط هذا الهواء مع وقود ملائم (لحرقه) لادارة تربينات غاز. والتضاغط السابق للهواء قبل تغذيته للتربينة يعطي تحسناً ذا دلالة في فاعليتها. فالناتج الصافي للتربينة يزداد بعامل حوالي ثلاثة ويتبع ذلك نقص في تكلفة التوليد (٦١). وقد يمكن استخدام الفجوات أو المداخن النووية لتوفير هذا التخزين.

ويلفت باركر (٦١) النظر الى حقيقة أنه في البلاد ذات الشواطىء البحرية الكبيرة فان قسماً متزايداً من محطات توليد الكهرباء يقع بالقرب من شاطىء البحر. واقتراحان من بين الاقتراحات الكثيرة لحل مشكلة فائض الكهرباء في غير وقت الذروة يدخل فيهما تخزين الماء المضخوخ وتضاغط الهواء. وفي كلا الحالتين تدخل خزانات كبيرة للماء و/أو الهواء وهذه قد تكون نظم الفجوة/المدخنة المكونة بتفجيرات نووية محتواة. وفي حالة تخزين الماء المضخوخ من الصعب غالباً اكتشاف مواقع للخزان العلوي والخزان السفلي وقد يمكن تسهيل هذه المشكلة بوضع الخزان السفلي في موقع تحت الأرض أو تحت قاع البحر. وحينما يستخدم الهواء المضغوط في ارتباط مع محطات قوى ساحلية فان مثل هذه النظم قد يمكن أن يكون لها خزانات تحت قاع البحر.

٢ - استخلاص الحرارة الجيوحرارية:

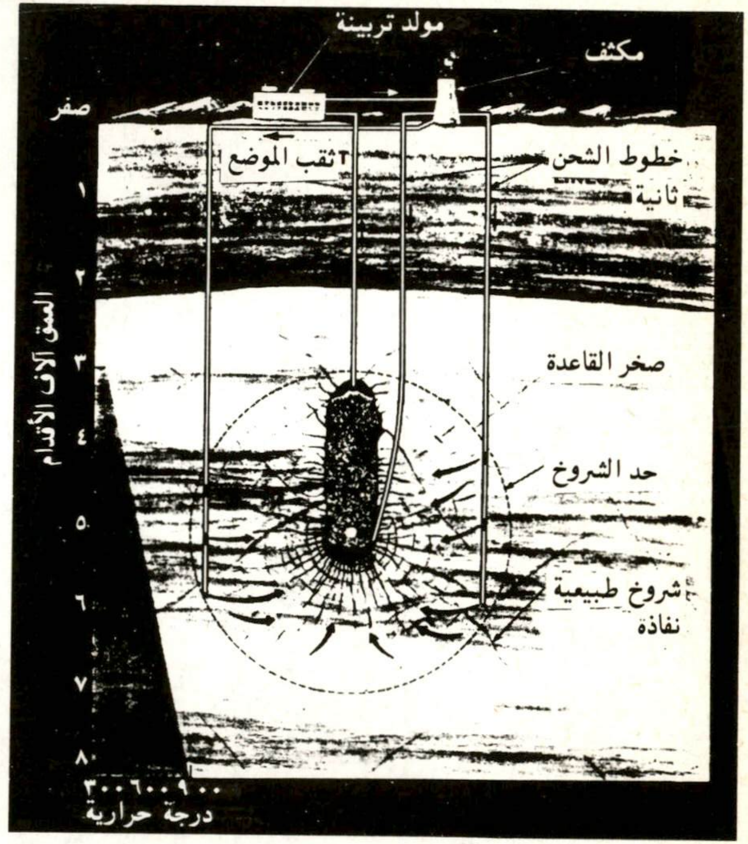
لقد أشار نيلسون (٨) الى أن احتمالات انتاج القوى باستخدام الحرارة

الجيوحرارية من كميات ضخمة من الصخور الساخنة المشرخة بواسطة التفجيرات النووية قد بحثت في دراسة جدوى بالولايات المتحدة. فالبخار المنتج يضخ الماء الى المنطقة المشرخة وينتظر أن يدار ثانية بعد المرور خلال التربينة والمكثف. وقد استنتج أنه لا يوجد سبب تقني يحول دون انتاج الكهرباء بهذه الطريقة.

وقد وصف نورديك (١٠ ، ٧٨) هذا التصور مشيراً الى أنه توجد مناطق كثيرة في العالم يوجد بها قريباً جداً من سطح الأرض أيسوثرمات عالية الحرارة يسندها سيل حراري من اقتحامات المصادر المذابة تحت الأرض للصخر البركاني. وقد أصبح الاستغلال التجاري لمصادر الطاقة هذه عملياً في الوقت الحديث فقط. وهو مقصور حالياً على المناطق التي يعمل فيها نظام شروخ طبيعي على جمع الحرارة من حجم كبير من الصخر كما يتوفر فيها وجود ماء طبيعي كاف ليعمل كعامل نقل للحرارة.

ويتصور تطبيق نووي خلق مدخنة ونظام شروخ مرتبط بها باستخدام تفجير نووي في خلق منطقة نفاذة يمكن استخلاص الحرارة الجيوحرارية منها (٨٢ ، ٨٣). ويوضح الشكل ١٦ التصور العام. والظواهر الاربعة التي يهتم بها في هذا التطبيق هي: (أ) استعمال المحتوى الحراري للصخر في المدخنة وفي نطاق الشروخ؛ (ب) سيل الحرارة من الوسط المحيط الى نطاق الشروخ أو المدخنة بالايصالية، (جـ) الترابط بين شبكة الشروخ التي كانت موجودة سابقاً بواسطة المدخنة ونظام شروخها ذوي النفاذية العالية؛ و(د) استخدام الحرارة المتخلفة من التفجير النووي.

والتقنيات التقليدية لاستخلاص الحرارة الجيوحرارية يدخل فيها حفر ثقوب كثيرة يحاول بها قطع الشروخ المحتوية على الماء الساخن أو البخار. ويوجد نموذجياً مدى واسع من فاعلية الآبار ويقتضي الأمر أن ينتج كثير منها بخاراً كافياً كي يستطيع المبدأ جذب الاهتمام التجاري. وعلى ذلك فان



شكل (١٦) القوى من الحرارة الجيوحرارية (١٠)



التقنيات التقليدية مقصورة على حالات جيولوجية خاصة جداً يظهر أنها منخفضة الفاعلية جداً حينما ينظر الى النسبة التي تستخلصها من الطاقة المتوفرة. وللتطبيق النووي احتمال استخلاص الحرارة الجيوحرارية من خزانات جيوحرارية جافة وكذلك تحسين فاعلية الاستخلاص من خزانات مشرخة مبتلة.

وفي التصور الموضح لخزان جاف يتصور أن يدخل الماء في المدخنة ونظام الشروخ من خلال آبار للحقن أو من خلال مداخن مجاورة ثم ينقل البخار فوق المسخن لتوليد القوى الكهربائية. واذا أمكن تحقيق دوران كاف بين المداخن المتجاورة وبين ثقوب الحقن في نطاق الشروخ والمداخن فعندئذ يمكن استخلاص قسم كبير من الطاقة الحرارية المحتواة في نطاق الشروخ وكذلك في المداخن. وانه لمن الصعب تحليل ما اذا كان هذا ممكناً وما هو مدى الضرر الذي قد يلعبه الحصر في قنوات معينة. فاذا حدث أن تكونت قنوات قليلة كبيرة بين المداخن أو الثقوب فانها يمكن أن تنقص بدرجة كبيرة من الفاعلية التي كان يجري بها استخلاص الطاقة من نطاق التشريخ.

وبالنسبة لمستودع جيوحراري مشرخ وله مصدر ماء فان المدخنة ونطاق التشريخ ستلعب دور تجويف ثقب متضخم بشكل كبير بطريقة مشابهة لتحفيز مستودعات الزيت أو الغاز منخفضة المسامية بمتفجر نووي. ولا ينتظر فقط أن يوفر هذا البئر الوحيد المتضخم امكان الوصول الى شروخ كبيرة أكثر من ثقب بئر تقليدي ولكنه ينتظر أن يكون عرضة للانسداد بدرجة أقل من الشروخ المغذية لبئر تقليدي. وبدون المعرفة التفصيلية لخصائص الشروخ المميزة لمستودع جيوحراري فليس من الممكن عمل تقدير كمي لهذا « التحفيز الجيوحراري النووي ».

وفي كل من هذين التصورين فان استخدام التفجيرات النووية المتعددة المتتالية ينتظر أن يحسن بقدر كبير الجاذبية الاقتصادية لهذا التطبيق.

وأن الخطر الرئيسي المرتبط بهذا التطبيق ينتظر أن يكون الصدمة الأرضية حيث أن كل الاشعاعية الناتجة من التفجير النووي من المتوقع أن تبقى تحت الأرض أو داخل نظام الدوران المغلق. ونظراً لحجم التفجيرات المطلوبة وطبيعة محطات التوليد ذات القدرة الكبيرة فقد يكون ضرورياً تطوير الامداد بالبخار لمدة ٣٠ أو ٥٠ عاماً قبل أن تبنى محطات التوليد.

وفي اشارة لهذا التصور، يشير تقرير المجموعة الاستشارية المختصة (٩) الى أنه لم يجر أي تفجير نووي حتى الآن لاختبار هذا التطبيق. ولكن الدراسات الأولية عن استخدام التفجيرات النووية لاستخراج الحرارة الجيوحرارية للأرض ذاتها كشفت عن أن طلقات ضخمة جداً (مثلاً ٥ ميجاطن) عند عمق كبير جداً من المنتظر أن تكون مطلوبة قبل أن يصبح استخدام الحرارة تحت الأرضية اقتصادياً.

٣ - التحويل الموضعي للفحم الى غاز:

يذكر تقرير المجموعة الاستشارية المختصة (٩) عموماً أنه تحت ظروف جيولوجية مناسبة قد يكون ممكناً اجراء تحويل موضعي للفحم الى غاز بطريقة ليست مختلفة عن تلك التي نوقشت سالفاً لانتاج الزيت من الطفل. وينتظر أن يكسر الفحم بالمتفجرات ويدخل خليط من الاكسجين والبخار من أعلى مع استخلاص غاز من نوعية عالية (الميثين أساساً) من قاع منطقة التفاعل. وفي مناطق قليلة من العالم فان سمك الطبقات ضخم جداً الى درجة تجعل من الممكن استخدام المتفجرات النووية لتكسير الفحم. والمدخنة النووية والتي يمكن أن تحوي طبقات عديدة من الفحم المهشم تشكل بعد ذلك معوجة كيميائية للعملية الموضعية، ومع أنه قد نظر في أمر تطبيق ت ن س هذا في ويومنج خلال الستينات الأخيرة فانه يجري تقييم نفس الموقع حالياً على أساس افتراض أنه قد يمكن استخدام كميات كبيرة من المتفجرات الكيميائية الرخيصة.

٤ ـ اذابة خامات أخرى :

في ارتباط بالمناقشة التفصيلية السابقة لاذابة خام النحاس يجدر ملاحظة أنه إذا أمكن استعراض الطريقة بنجاح فقد يمكن أن يحتمل تطبيقها على رواسب عميقة لخامات ملائمة لفلزات أخرى (٩).

وعلى ذلك فقد أبدى ليويس وزملاؤه (٧٩) وجهة النظر بأن كبريتيد النيكل الذي يحوي بنتلاندايت وبيرهوتايت ستكون اذابته أسهل من رواسب النحاس التي تحوي شلكوبرايت وبيرايت فكل من البنتلاندايت والبيرهوتايت يذوب بمعدلات أسرع من الشلكوبرايت، وانواع الصخور التي توجد فيها معادن النيكل هذه (صخور قاعدية نارية) تتحلل بسهولة أكبر من خامات النحاس البورفيرية تحت ظروف التحطم المعجلة المنتجة في مدخنة. والمولبدينايت في خامات المولبدينوم قابل للذوبان بدرجة كافية ولكن قد يكون من الضروري اضافة قاعدة مثل ص أيد أو ن يد$_{٤}$ أيد للحفاظ على الرقم الايدروجيني أعلى من ٧ من أجل ابقاء المولبدينوم في المحلول.

ومن ناحية أخرى يلاحظ باركر (٦١) أنه فيما عدا البترول فان معادن قليلة جرى استخلاصها حتى الآن من تحت قاع البحر باستثناء الامتداد الطبيعي للتعدين القائم على الأرض كما هو الحال بالنسبة لاستخلاص الفحم في شمال شرق انجلترا. وفي ضوء التطورات في مجال سفن الحفر يبدو من المرجح أن يكون الكشف عن المعادن بعيداً عن الشاطىء أصعب قليلا منه فوق الشاطىء. ولكن الاستغلال مسألة مختلفة كلية وخاصة تحت الماء الأعمق. فازالة الحمل العلوي بتفجير تفويهي أو الاستخلاص الموضعي للخامات بالاذابة من مدخنة نووية قد تكون طرقاً يمكن فيها للتفجيرات النووية أن تساعد في استغلال المصادر المعدنية بعيداً عن الشاطىء.

٥ ـ تكسير الخامات :

لقد أقام التعدين بالتجويف في كتل تكنولوجيا للتعامل مع أطنان كبيرة

من الصخر المكسر (٩) . وان الخصائص المميزة للتصميم من التجويف التقليدي في كتل قابلة للتواؤم مع تعدين الصخر بتفجيرات نووية تحت الأرض .

ويذكر نورديك (١٠) عامة أنه تتوفر تقنيتان لاستخدام المتفجرات النووية في التعدين . وتستخدم الأولى الصخر المكسر الذي تحتويه المدخنة . ومن خلال استخدام مدخل ونفق قد يمكن الوصول الى اخراج هذا الخام باستخدام طرق لتعدين التجويف في كتل شبيهة بتلك المستخدمة حالياً في صناعة التعدين . وقد تكون ميزة المدخنة أنه من المنتظر أن يتشرخ الصخر قبل محاولة تعدين الكتل . ومثل هذه التقنية ينتظر أن تكون قابلة للتطبيق في مجالات مثل التاكونايت بالغة القوة حتى أن التقنيات التقليدية للتعدين بالتجويف في كتل غير عملية في حالتها . وأن ميزة اضافية لمثل هذه التقنية ينتظر أن تكون في احتمال أن يعزز تكسير الصخر فوق ذلك الذي يحصل عليه بالطرق التقليدية .

أما التقنية الثانية فينتظر أن تستعمل قدرة موجة الصدمة في أن تحطم الصخر تحت الاجهاد عندما تلتقي مع سطح حر ، وفقاً للوصف الذي قدمه فوزموزنك وزملاؤه (٨٤) . فبهذه العملية ينتظر أن يتحطم كل الصخر الموجود بين شبكة من الانفاق والمداخل وبين نقطة الاطلاق . وقد اقترح مشروع لتكسير الخامات باستخدام هذه التقنية في الاتحاد السوفييتي في ١٩٧٠ (٩) . وفي هذا المشروع ينتظر أن يوضع متفجر نووي ذو ٨ر١ ك ط مباشرة تحت جسم خام سمكه ٦٠ ـ ٨٠ متر منغمس داخل جبل بزاوية حوالي ٢٥ ـ ٣٥° م . وينتظر أن تعدن نافذة شبكية رأسية وأفقية كي توفر سطحاً حراً داخل القالب ينتظر أن تنعكس موجة الصدمة من خارجه على شكل موجة اجهاد تؤدي الى تعزيز تشريخ الصخر . وقد قدر أن هذا التفجير الوحيد ذو ٨ر١ ك ط ينتظر أن يكسر حوالي ٩ × ١٠^{٦} م^{٣} من الخام ، ويمكن اخراج

٤ر٠ × ١٠^٦ م^٣ منها من سرادب نطاق الشروخ بالطرق العادية لتعدين الحفرة.

وقد عينت تأثيرات التفجيرات النووية المحتواة في الصخر الصلب في مشروعات أجرتها فرنسا والاتحاد السوفييتي والولايات المتحدة.

٦ ـ توليد القوى الكهربائية وانتاج المواد الانشطارية:

لقد درس الاستخدام المحتمل للتفجيرات النووية في توليد القوى الكهربائية وتولد المادة الانشطارية (٩). وفي هذا التصور ستخفض المتفجرات النووية الى داخل فجوة تحت الأرض من خلال مدخل ذي صمام مناسب. ويحافظ على مائع عامل داخل الفجوة عند درجات حرارة وضغط ملائمة بالاطلاق المتتالي لمتفجرات اندماج. ويدار السائل العامل الى مبادل حراري فوق السطح يطلق البخار الثانوي المطلوب لادارة تربينه مولد كهربائي. فاذا كان المتفجر يحوي ثوريوم أو يورانيوم عادي فانه قد ينتج يورانيوم ـ ٢٣٣ بلوتونيوم ـ ٢٣٩ تساق داخل المائع العامل وتستخلص بالترشيح قبل اعادة المائع العامل الى الفجوة. وهذا التطبيق غير مثبت.

٧ ـ انتاج النظائر:

لقد اتضح أنه بتشعيع أهداف مناسبة بفيض النيوترونات الكثيف الذي ينتج في لحظة تفجير نووي، فانه يمكن انتاج كميات من النويدات المشعة التي ينتظر أن يستغرق انتاجها في المفاعلات أو المعجلات النووية شهورا أو سنوات. وتتضمن هذه ليس فقط النويدات فوق اليورانية حيث قد يكون الهدف هو الثوريوم أو اليورانيوم ولكن أيضاً النظائر الغنية بالنيوترونات للعناصر الأخف والنويدات البعيدة عن منحنى الاستقرار للكتلة/الشحنة. ولكثير من هذه النويدات استخدامات صناعية أو طبية هامة. ولا يبدو أن التكلفة الفاعلية لانتاج هذه النويدات باستخدام التفجيرات النووية قد

درست بالتفصيل. وينتظر أن يكون استخلاص ومعالجة الهدف مشكلة جوهرية ولكن مشاكل اختيار الموقع والأمان في هذا التطبيق يمكن أن تكون أقل كثيراً منها في أغلب تطبيقات ت ن س.

الفصل السابع

تطبيقات الحفر

قد تستخدم تكنولوجيا ت ن س في عدد من تطبيقات الحفر الكبرى . ومن المنتظر أن تتضمن هذه التطبيقات انشاء القنوات ، واقامة خزانات المياه ، وانشاء الموانىء . وقد تصور عدد من التطبيقات الاخرى وتتضمن التفجير الموجه لبناء السدود ، وانشاء قطوع الطرق والسكك الحديدية ، وانتاج الركام ، وازالة الحمل العلوي ، وازالة العوائق الملاحية الخطرة .

وان الحجم الكبير للمعلومات عن تطبيقات الحفر يأتي من استخدام المتفجرات الكيميائية . وقد أجري عدد من تجارب الحفر النووي وحيدة الشحنة في الاتحاد السوفييتي والولايات المتحدة . وقد وصفت هذه الاحداث في كل جوانبها تحت الفصلين الثالث والرابع من هذا التقرير . ولكن أغلب تطبيقات الحفر تقتضي استخدام صف أو مجموعة مرتبة من المتفجرات .

أولا - انشاء القنوات

لقد أجري حفر الشحنات الصفية بالمتفجرات التقليدية العالية في كل من الاتحاد السوفييتي والولايات المتحدة لأوساط مختلفة ومتفجرات وحصائل تفجير مختلفة . ويمكن الحصول على أمثلة من هذا الجهد في المشروعات الامريكية ستيج كوتش ، وديجوت ، وبري جندولا ١ ، وبري جندولا ٢ ، وروبون (٢) .

وكأداة في انشاء القنوات قد تستخدم تفجيرات التفويه الوحيدة والمتعددة لتحريك التربة وتوفير مجاري ملائمة لقنوات وأجزاء من قنوات (٩). وهدف هذا التطبيق هو:

أ - تحسين نظم النقل المائي على الأرض وخاصة حين يكون النقل السطحي صعباً؛

ب - تحسين النقل البحري بتقصير المسافة التي تسافر أو تحسين وقت وقدرة العبور فوق ما هو متوفر في القنوات الحالية بتوفير منشور ملاحي أكبر وتفادي استخدام الأهوسة؛

جـ - نقل الماء من مكان لآخر للخطط الكهرمائية أو الري أو سد النقص المائي.

وتنتج المتفجرات النووية الوحيدة الموضوعة عند أعماق مناسبة لأغراض الحفر فوهات ذات مقطع عرضي زائدي. ويحطم التفجير الوسط المحيط رامياً به الى أعلى والى الخارج. وتتساقط بعض المادة خلفياً الى الفجوة منتجة ما يسمى بالفوهة الظاهرية، ويسقط الباقي في الخارج مكوناً شفة الفوهة. وفي حفر قناة ما ينتظر أن يطلق في وقت واحد عدد من المتفجرات النووية المدفونة في صف لتنتج فوهة طولية تتوقف ابعادها على نوع المادة التي يجري حفرها ومحتواها من الرطوبة، وحصائل المتفجرات وأعماق دفنها وتباعدها داخل الصف. وللحد من الفرقعة الهوائية وحركة الأرض ينتظر أن يجري انشاء قناة كبيرة ما في أقسام. ولتفادي التداخل في انشاء الاقسام المتجاورة ينتظر ان تنشأ أقسام بالتبادل ويلي ذلك انشاء الأقسام الباقية. ومن المنتظر أن يستخدم بعد ذلك طرق تحريك التربة التقليدية لتمهيد القناة وازالة مادة التساقط الخلفي عند النقاط بين الاقسام والقيام بأي عمل اصلاح مطلوب في ميل الفوهات وشفاهها.

ويدخل في أغلب تطبيقات الحفر الاطلاق في وقت واحد لمتفجرات

متعددة موضوعة في صف لتكوين مجرى طولي أكثر منها لتكوين فوهة دائرية (١٢). وقد أجري الكثير من تجارب تفويه الصف التقليدية ذات القياس الصغير مثل بري بجي ١ ، ٢ في اللالوفيوم. وان الهدف عامة من تجارب تفويه الصف هو تعيين تأثير تغير تباعد المتفجرات على برامترات فوهات الصف. وعلى وجه العموم فان نتائج التجارب في الألوفيوم توضح ما يلي:

(١) ان التباعد بين المتفجرات من نصف قطر فوهة وحيدة الشحنة سينتج صفاً بعرض نصفي أكثر بحوالي ١٠٪ الى ٢٠٪ من نصف قطر فوهة وحيدة؛

(٢) ان التباعد حوالي ١٫٢٥ ضعف نصف قطر فوهة وحيدة ينتج صفاً ذا أبعاد تساوي تقريباً الأبعاد من شحنة وحيدة؛

(٣) ان الشفاه والحواف لفوهة صف تزيد بين ٥٠٪ و١٠٠٪ عن شفة فوهة وحيدة ولكن ارتفاعات الشفاه خارج طرفي الصف صغيرة جداً.

وتقتصر خبرة تفويه شحنات الصف في الصخر الصلب على تجربتين، ديجوت (م ع) وبجي (م ن). وعلى أساس هذه النتائج قد يظهر أن الاستنتاجات المستخلصة من تفويهات الصف في اللالوفيوم ستكون شبيهة الى حد ما بتلك الخاصة بالصخر الصلب.

ولم تنشأ أي قناة في أي مكان حتى الآن بالتفجيرات النووية. ولكن كلا من الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي قد أجرى تجربة شحنات صف نووية. ومن ناحية أخرى أجريت دراسات لفحص امكانية استخدام تكنولوجيا ت ن س في انشاء عدد من مشروعات قنوات هامة وهي قناة بيكورا ـ كولفا في الاتحاد السوفييتي، وقناة برزخ أمريكا الوسطى في بنما أو كولومبيا، وقناة كرا في تايلاند، وقناة وصل نهري اورينوكو وريو ـ نجرو في فنزويلا، وقناة منخفض القطارة في مصر.

١ ـ تجربة شحنات الصف النووية الامريكية:

لقد وصف ج. تومان (١٢ ، ٨٥) هذه التجربة: فمشروع بجي وهو أول تجربة حفر صف نووي كان تجربة هامة من حيث أنه أكد التصورات الأساسية لحفر القنوات المستمدة من تجارب م ع عند حصائل منخفضة جداً وأثبت قيمة حسابات التفويه النظرية في التنبؤ بتأثيرات انفجار نووي في وسط غير مختبر. فقد أطلقت في وقت واحد خمسة متفجرات نووية حصيلة كل منها ١ر١ ك ط في ١٢ مارس ١٩٦٨ في تكوين بازلت جاف ومعقد في هضبة شوكار، م أ ن. وقد دفنت المتفجرات على عمق ١ر٤١ م وبتباعد ٧ر٤٥ م من بعضها. وفي شكل ١٧ صورة فوتوغرافية لفوهة بجي. ومتوسط أبعاد المجرى المحفور كالآتي:

عرض الفوهة الظاهري	٤ر٧٧ م
عمق الفوهة الظاهري	٨ر١٩ م
طول الفوهة الظاهري	٦ر٢٦٠ م
ارتفاع الشفة الظاهري (الجانبان)	٤ر١٢ م
ارتفاع الشفة الظاهري (الطرفان)	٣٧ر٤ م
أقصى عرض للشفة	١٠٨ م
حجم الفوهة الظاهري	٢٠٠٦٠٧ م^{٣}
حجم الشفة الظاهري	٣٢٢٨١١ م^{٣}

والأبعاد الظاهرية أصغر بشكل ذي دلالة من تلك التي قد يتنبأ بها على أساس أبعاد داني بوي في بازلت بكبورد (نصف القطر أقل ١٠٪ ، والعمق أقل ١٩٪). ويعتقد أن الأبعاد الأصغر للفوهة ترجع بدرجة كبيرة الى الظروف الجيولوجية الموجودة في موقع بجي. والفروقات في خصائص التفويه المميزة لتكويني البازلت قد عينت بحسابات التفويه (شفرة Tensor) بعد أن تم اختيار



شكل (١٧) منظر لفوهة بجي (م ن ،
٥ر٥ ك ط ، عمق ١ر٤١ م ، تباعد المتفجرات ٧ر٤٥ م). (١٢)

عمق الانفجار وتباعد المتفجرات بالقياس من أبعاد داني بوي. وفي البداية اختير عمق وتباعد من ١٥٠ قدم لتمثل العمق الأمثل للاطلاق ونصف قطر واحد أو عمق انفجار واحد للتباعد. وقد أوضحت الحسابات أن عمق اطلاق من ١٥٠ قدم أعمق من أن يحدث فوهة مقذوفات لمتفجر بجي وحيد. وأنقص العمق الى ١٣٥ قدم للتأكد من تكوين الفوهة. ولكن ثقوب الموضع كانت قد أنشئت ولم يكن في الامكان تعديل التباعد. وهذا الظرف أدى مصادفة الى اكتشاف أن المسافات بين ١٥ر١ و٢٥ر١ من نصف القطر (أو ١ر١ من عمق الاطلاق) يمكن أن ينتج قنوات في الصخر الصلب خالية من تعرجات واضحة أو شذوذيات شديدة. وحيث أنه لم يسبق اجراء أي تجربة على هضبة شكار

فان التباعد نصف القطري الفعلي قد عين من متوسط نصف القطر عند طرفي صف بجي . وقد اختلفت الظروف الجيولوجية عند موقع بجي من أحد طرفي الصف الى الطرف الآخر . وقد تميز التكوين بطبقات من البازلت ذات كثافات وسرعات تضاغطية مختلفة بما ينتج عنه من عدم توافق المعاوقة بين الطبقات . ولقد كانت ظاهرة سائدة أن طبقة كفاءة كثيفة وذات سرعة عالية امتدت فوق ثلاثة شحنات (أ ، ب ، ج) من عمق يتراوح بين حوالي ٣٠ و٩٠ قدم .

وكانت السرعات السطحية التي قيست عند الاطلاق تتفق بشكل طيب مع تلك التي حسبت لشحنة منفردة . فتراوحت سرعات الشظايا الأولوية بين حوالي ٢٤ الى ٣٥ م/ثانية متوقفاً ذلك على المكان فوق خط الشحنات . وقد رفعت مرحلة تعجيل غازي هذه السرعات على طول الركام كله الى ذروة قدرها ٤٥ م/ثانية فوق الشحنة ب . وفي بازلت بكبورد المتجانس بقدر ملائم عند العمق المقاس للاطلاق في بجي ، فانه يتوقع أن تكون سرعة الشظايا حوالي ٥٠ م/ثانية وسرعة الذروة الكلية حوالي ٦٠ م/ثانية .

وبالنظر الى الخبرة الشاملة المكتسبة في الولايات المتحدة في الحفر النووي سواء في أحداث وحيدة الشحنة أو ذات شحنات صف ، يصل تومان (١٢) الى الاستنتاج التالي .

لقد حصلت تكنولوجيا الحفر النووي على دفعة كبيرة نتيجة للفهم الأفضل للتغيرات المتولدة في عملية التفويه بواسطة تكوينات صخور طبقية مثل تلك التي قوبلت في تجارب بجي وكابريوليت وشونر . وان التبصر قبل الطلقة في طبيعة هذه التغيرات قد أصبح ممكناً باستخدام حسابات شفرات التفويه التي تستخدم بيانات لاختبارات الموضعية والمعملية على عينات صخرية من التكوين . ويمكن حالياً تصميم مشروعات الحفر النووي في تكوينات غير مختبرة بقدر أكبر من التأكد من أنه يمكن تحديد عمق الاطلاق والحصيلة لتعطي البنية المرغوبة . وفي تجارب الحفر النووي التي أجريت الآن حتى مستوى ١٠٠ ك.ط

لم يلاحظ اتجاه نحو قياس جذر (٤/١). وقد أشارت مقارنة لبيانات التفويه في ثلاث مواد مختلفة (صخر جاف وألوفيوم وطفل) الى أن الفروقات في الصفات الطبيعية تؤثر في أبعاد الفوهة بشكل أكثر دلالة عن الفروقات الممكنة في أساسات قياس الحصيلة. وان الأبعاد المقاسة الصغيرة الى حد ما في تجربة بجي لتفويه الصف يجب ألا تعتبر نموذجية لمشروعات الحفر النووي الكبرى. وان وجود الماء عند نقطة الاطلاق وفي التكوينات الواقعة أعلاها، والتي يرجح أن تقابل في أغلب الأماكن خارج موقع اختبارات نيفادا، يتوقع أن ترفع بشكل ذي دلالة من فاعلية التفويه للمتفجرات النووية.

وفي مشروعات القنوات الكبرى ستكون حصائل المتفجرات المطلوبة في مستوى الميجاطن. وقد قدم ر. و. ترهيون وزملاؤه (٣١) حسابات لثلاث حصائل من ٣ م ط في فاصل بازلت مشبع ولحصيلة ١ م ط في بازلت بكبورد الجاف ليبين هندسة الفوهة كدالة لعمق الدفن لحصائل المتفجرات الكبيرة. وتوضح الحسابات للحصائل من مستوى الميجاطن أن التعجيل الغازي هو الميكانيكية السائدة في تحديد حجم الفوهة وتتوقف بدورها على المحتوى المائي للوسط.

وبالنسبة لأوجه الأمان لتطبيقات التفويه لشحنات الصف النووية فانها في الجوهر نفس تلك التي سبق وصفها لاحداث التفويه وحيدة الشحنة وهي الاشعاعية، والفرقعة الهوائية، والسحابة الرئيسية والجيشان القاعدي، وحركة الأرض. وسيكون الفرق في المقدار. وهذا يفرض قيوداً على اختيار الموقع، والكثافات السكانية خاصة في اتجاه الريح، والبعد والانعزال عن الأبنية ذات الدلالة، والقدرة على التنبؤ الدقيق بأحوال الطقس في وقت الاطلاق وبعده بقليل.

وبالنسبة للاشعاعية ذكر شفارتز وزملاؤه (٣٣) عامة أن البيانات من تجربة بجي تشير الى أن الظاهرية السابق مناقشتها لانفجار وحيد لا تختلف

بشكل ذي دلالة عنها لشحنات صف ، والتسرب الجزئي للنويدات المشعة هو نفسه عند أعماق دفن متماثلة . وعلى ذلك فبالنسبة لشحنات الصف فان كميات النويدات المشعة المتسربة تحسب للتريتيوم ونواتج التنشيط النيوتروني بقياس قيم حدث معروف بالحصيلة الكلية للحدث المقترح كمشروع ، وتحسب لنواتج الانشطار بعدد المتفجرات .

وبالنسبة للسحابة الرئيسية وجيشان القاعدة المتمددين (٣٣) فكلاهما يستقر بعد عدة دقائق من الاطلاق . وكل من هاتين السحابتين يحوي غازات وبخار ماء وكذلك مستمر من أحجام الجسيمات . وتشكل الجسيمات الأكبر التساقط الخارجي القريب وتشكل الجسيمات الأصغر ذات قطر أقل من عدة ميكرونات السحابة غير المتساقطة طويلة المدى . وقد حسبت أحجام نموذجية للسحب عند وقت الاستقرار . ويمكن تقدير التركيزات الأولية للنويدات المشعة من هذه الأبعاد مقرونة بمصدر تسرب ملائم كما أشير اليه أعلاه . وتشير الحسابات الى أبعاد ضخمة جداً للسحب من شحنات صف عديدة الميجاطن - ارتفاعات السحابة الرئيسية تصل الى ١٧ كم ونصف قطر الجيشان القاعدي يصل الى عدة عشرات من الكيلومترات . وقد استمدت هذه الأبعاد بتقنيات تجريبية مبنية على خبرة الولايات المتحدة في التفويه . ومن المنتظر أن تتطلب حسابات أكثر تفصيلا بمعلومات داخلة عن الجيولوجيا المحلية والطقس لدراسة جدوى محددة وتفصيلية . ويصف شفارتز (٣٣) نتائج مثل هذه الدراسة التي أجريت لمشروع قناة كرا لتايلاند وبينت أنها يمكن أن تنشأ بأمان . وسنتعرض الى هذه النتائج في هذا التقرير فيما بعد حين نناقش قناة كرا .

وأخيراً فان حركة الأرض حتى في مشروعات التفويه قد تكون أكثر حرجاً من الاشعاعية أو الفرقعة الهوائية (٨) . ولكن هذا الخطر يمكن تدبير جعله منخفضاً بشرط اتخاذ الاجراءات الضرورية مسبقاً .

٢ - مشروع قناة بيكورا - كولفا وتجربة شحنات الصف النووية السوفييتية :

تتوفر المعلومات عن هذا المشروع وهذه التجربة بالروسية (٢٨ ، ٨٦). ولكن توفرت ملخصات انجليزية موجزة (٩ ، ملخص ٦) وخلاصات ومناقشات بالانجليزية (٣٨ ، ٨٦) وهي لو أنها محدودة جداً الا أنها في نفس الوقت توضيحية تماماً.

فقد جرت دراسة مشروع قناة بيكورا - كولفا - في الاتحاد السوفياتي لعدة سنوات (٩). وينتظر أن تكون هذه قناة تحويل تستهدف المساعدة في استقرار مستوى بحر قزوين الذي انخفض أكثر من ٢ر٥ متر خلال ٣٥ عاماً الماضية. فجزء من فيض القسم الأعلى من نهر بيكورا الذي يصب في بحر القطب الشمالي ينتظر أن يحول الى نهر كولفا الذي يغذي بحر قزوين. وقد بحث استخدام المتفجرات النووية في انشاء قسم من القناة طوله ٦٥ كم. والمقطع العرضي المرغوب للقناة ٣٠٠٠ م٣. ومن المتصور أنه قد يستخدم حوالي ٢٥٠ متفجراً نووياً موضوعة عند أعماق تتراوح بين ١٥٠و٢٨٥ متراً في مجموعات من ٢٠ متفجراً في صف وبحصيلة اجمالية لأي مجموعة قدرها حوالي ٣م ط. ووفقاً لدراسة سوفييتية (٨٦) فان استخدام المتفجرات النووية في شق القناة سيجعلها ارخص من ٣ الى ٣ر٥ مرات من الطرق التقليدية.

ولقد أجريت تجربة على المسار المقترح للقناة كخطوة أولية في دراسة استخدام المتفجرات النووية لانشاء قسم قدره ٦٥ كم من القناة المقترحة. وقدم كيرييف وزملاؤه (٢٨) معلومات عن هذه التجربة التي دخل فيها صف من ثلاث متفجرات نووية كل منها ذو ١٥ ك ط. وقد صممت التجربة لدراسة خصائص التفويه المميزة للوسط، وهو ألوفيوم ضعيف مشبع بالماء، وكذلك استقرار ميول الفوهة. وتكون خندق تفويهي مليء بالماء وملائم للاستخدام

كجزء متكامل من القناة النهائية. ولا زالت ميول هذه الفوهة مستقرة منذ تكوين الفوهة.

وشرح المؤلفون (٢٨) كذلك الاحوال الجيولوجية وأشاروا الى برامترات الموضع وقدموا بيانات عن ديناميكية تطور التفجير وكتبوا عن تأثيراته الزلزالية. وقد درس امكان استخدام التفجيرات النووية لمشروعات تكنولوجية مائية تتطلب حفراً ضخماً في طبقة سميكة من صخور ضعيفة حاملة للماء.

وفي تلك التجربة كانت تجويفات الثقوب تحتوي على الماء فقط، بمستوى تحت رأس البئر بأمتار قليلة. ولم تكن هناك سدادات اسمنتية. وقد اختلف عمق الدفن قليلا من متفجر لآخر للتأكد من الحصول على قاع ممهد للخندق المحفور. وقد وضعت الشحنة الاولى في صخور قوية نسبياً تحتوي على كمية كبيرة نسبيا من الكربونات. ولقد كانت الكربونات وكميات الماء الكبيرة مصدراً مؤاتياً جداً لكمية كبيرة من الغاز. ووضعت الشحنات التالية في صخور اللوفيوم ذات ظروف مواتية كذلك لتكوين كمية كبيرة من الغاز. وكان ارتفاع السحابة فوق موقع التفجير ١٨٠٠ م عند حوالي الثانية الثامنة أو العاشرة في تطوير التفجير.

وفي النهاية أشار كيرييف الى أنه بفحص نتائج التجربة استمرت الدراسات في الاتحاد السوفييتي لتطوير مشروع القناة بما في ذلك الطريقة النووية لانشاء القسم الجنوبي لمسار ممكن للقناة. ولكن هناك مسارات مختلفة متصورة لمثل هذه القناة متضمنة مسارا واحداً ينتظر فيه ان تسير القناة أساساً خلال مناطق صخور صلبة. ولكن حتى في هذه الحالة فانه توجد أقسام معينة بها من نوع اللوفيوم، ويفترض كيرييف أنه من الناحية النظرية قد أوضحت التجربة أنه من الممكن انشاء القناة كما هو مقترح.

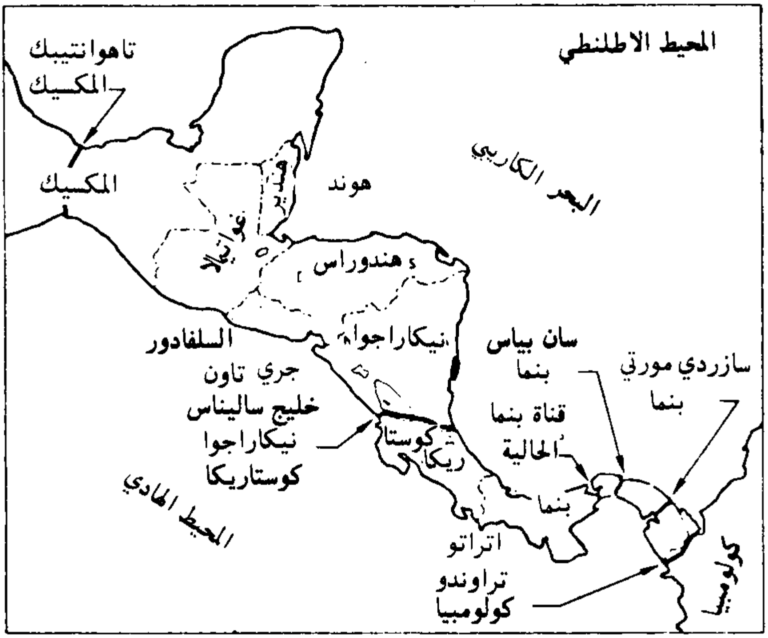
٣ ـ مشروع قناة برزخ أمريكا الوسطى:

ان أكثر الدراسات التي نشرت حتى اليوم اتساعاً عن استخدام المتفجرات النووية لانشاء القنوات كانت تلك الدراسة الخاصة بقناة في مستوى البحر خلال برزخ أمريكا الوسطى في أي من كولومبيا أو بنما (٩).

فالاقتراحات المتوالية لحفر قناة في مستوى البحر بالطرق التقليدية قد واجهت عوامل وقت وتكلفة محرمة. وقد تراوحت تقديرات التكلفة بين أكثر من ٢ بليون دولار وأكثر من ١٣ بليون دولار للمسارات المختلفة، وكان أكبر عناصر التكلفة ـ حتى ٨٥٪ من الاجمالي ـ هو الحفر (١). وقد أشار تقرير لشركة قناة بنما في ١٩٦٠ الى أن شق قناة في مستوى البحر بالمتفجرات النووية من المنتظر أن يكون مجدياً وآمناً. وبالاضافة ذكرت الشركة أن القناة النووية ستكون أكبر من تلك التي تشق بالطرق التقليدية، وبالتالي ستكون أكثر نفعاً وأقل قابلية للتلف وستتطلب صيانة أقل. وزيادة على ذلك فان شق مثل هذه القناة بطرق الحفر النووي ينتظر ان تكلف كسراً فقط من تكلفة الحفر التقليدي. وفي درناسات ١٩٥٩، ١٩٦٠ بحثت خمسة مسارات موضحة على الخريطة، شكل ١٨. وأشارت دراسات ١٩٦٤ الأكثر حداثة (٨٧) الى أنه نظراً للتقدم التكنولوجي فان التكلفة يمكن أن تكون منخفضة الى رقم مثل ٦٥٠ مليون دولار لمسار سازاردي ـ مورتي و١ر٢٥ بليون دولار لمسار أتراتو ـ تراوندو.

وفي ١٩٦٥ شكلت الحكومة الامريكية لجنة رئاسية لتدرس بالتفصيل الجدوى التقنية والأمانية والاقتصادية للقناة النووية المقترحة. وقد استكملت هذه الدراسة وقدمت للحكومة الأمريكية في ١٩٧٠.

وكان من المفترض أن يكون للقناة منشور ملاحي ١٨ متراً في العمق و٣٠٠ متراً في العرض. وأخذ في الاعتبار مجموعات منفردة من حصائل تصل الى



شكل (١٨) المسالك الخمس التي درست كمواقع ممكنة لانشاء قناة بزرخ أمريكا الوسطى بالمتفجرات النووية. (١)

٥ر١٣م ط و بحصيلة تفجير كلية قدرها ١٧٠ م ط ، وفي أحد المسارات يدخل حوالي ٢٥٠ متفجراً في ٢٧ مجموعة وفي مسار آخر ١٥٠ متفجراً في ٢١ مجموعة (٩).

وفي هذه الدراسة (٨) افترض أنه من أجل الوصول الى حفر ذي شكل مرض فان تباعد الشحنات يجب أن يتراوح بين ١ر١ و٨ر٠ مرة من أقصى نصف قطر لفوهة وحيدة. وعادة ما يستخدم أقصى تباعد مقبول بهدف الاقتصاديات. وعلى أي حال فانه حيث تكون الحصيلة الكلية لمجموعة ذات خمس شحنات عند التباعد الأقصى عالية بشكل غير مقبول فمن المنتظر ان ينقص التباعد. وعندئذ فان الفعل المتبادل الأكبر بين التفجيرات ينتظر أن يعطي نفس عمق الشق بمتفجرات ذات حصائل أدنى. فعلى سبيل المثال فانه

لشق ٩٠٠ قدم المتصور لحفر قناة البرزخ من المنتظر أن تتطلب حصيلة من ٥ر٥ م ط لكل تفجير مجموعة وبتباعد أقصى مقبول لخمس شحنات . وبالتباعد الأدنى المقبول تهبط الحصيلة الضرورية الى ٥ر٢ م ط لكل تفجير مجموعة .

وعلى أحد مسارات قناة البرزخ يصل الفاصل القاري الى ارتفاع ١١٠٠ قدم ومن طول كلي قدره ٤٩ ميلاً قدر أن حوالي ٣٠ ميلا متضمنة الفاصل صالحة للحفر النووي . وباستخدام فروض محافظة تماماً فقد قدر أن حوالي ٢٥٠ شحنة نووية بحصيلة تصل الى ٣ م ط وباجمالي ١٢٠ م ط ينتظر أن تكون مطلوبة . وان الحصيلة الاجمالية القصوى الضرورية لأي واحدة من المجموعات الثلاثين المقترحة قد قدرت بمقدار ١١ م ط . ولتأكيد الأمان الاشعاعي فان حوالي ٦٥٠٠ ميل مربع من الأرض بكثافة سكانية ٦ أشخاص لكل ميل مربع ينتظر أن يلزم اخلاؤها وأن تبقى خالية الى ما يصل الى عام واحد بعد آخر تفجير . ومن المرجح أن يكون الضرر من الحركة الأرضية ضئيلاً فقط في أي مدينة قريبة .

وبالرغم من ذلك فان الدراسة الهندسية عكست نتائجها في استنتاجات تقرير الجدوى بذكر أن أي تطبيق مبكر للتفويه النووي في انشاء قناة في مستوى البحر عبر برزخ الاطلنطي ـ الهادي غير عملي للأسباب الآتية :

(١) المقدرة على التنبؤ بأبعاد الفوهات عند مستوى الميجاطن لم يثبت منها تجريبياً ،

(٢) الزيادات المتنبأ بها في فاعلية التفويه للصخور المشبعة وللتباعد الضيق لشحنات الصف لم يثبت منها باختبارات ذات حجم كبير ،

(٣) لا زال مطلوباً حتى الآن أن يستعرض عملياً أن التفجيرات المرتفعة الحصيلة تنتج فوهات لها نفس الشكل مثل ذلك الذي يلاحظ حتى الآن ،

(٤) اعتماد ميل الفوهة واستقرار الشفة على قوة الصخر لا زال من المطلوب

أن يتحقق منه.

وبعد ذلك وصل تقرير الجدوى (٩) الى استنتاج أنه اذا أنشئت قناة في مستوى البحر فيجب أن تكون عبر مسار يستدعي اجراءات الحفر التقليدي فقط. ومثل هذا المسار موجود في القسم الأوسط لمسار في بنما يتكون من رواسب طفل طميمي قدر أنها من الضعف بحيث لا تتحمل على أساس المدى الطويل الميول المرتفعة التي ينتظر أن تكون للقناة النووية في هذه المنطقة.

ورغم ذلك فقد اعترف بأن حجم المزايا الاقتصادية المحتملة التي يقدمها الحفر النووي في انشاء قناة البرزخ يبرر برنامجاً مكثفاً لتطوير التكنولوجيا (٨). ولكنه منذ اجراء هذا التحليل الشامل والمتشائم فقد أعطي اهتمام صغير في الولايات المتحدة لاستخدام المتفجرات النووية لأغراض الحفر.

٤ ـ مشروع قناة كرا التايلاندية:

لقد قدم س. سريزوخ (٨٨) وصفاً لهذا المشروع. فعلى مدى أكثر من ٢٠٠ عام نوقشت الحاجة لقناة عبر برزخ تايلاند لتربط خليج تايلاند ببحر أندامان. والممر المائي مفروض أن يكون على أرض تايلاند وتحت سيادتها. وقد استكمل في ١٩٧٣ أول استعراض شامل سابق للجدوى لمثل هذه القناة التي في مستوى البحر. وهذه الدراسة التي رخصت بها الحكومة التايلاندية وأعدتها أربعة بيوت خبرة أمريكية قد مولت كلية بواسطة القطاع الخاص.

وفي تحضير التقدير الأولي لجدوى استخدام ت ن س لحفر قسم من القناة عملت الافتراضات التخطيطية التالية:

أ ـ بينت حسابات أبعاد الفوهات على علاقات قياس طورت من عدد كبير من تجارب المتفجرات العالية ومن تجارب الولايات المتحدة في الحفر النووي.

ب - أقصى حصيلة لأي أداة متفجرة منفردة حددت عند ١ ميجاطن (م ط).

جـ - أقصى حصيلة لمجموعة لا تزيد على ٥ر٥ م ط.

د - حسابات كميات النويدات المشعة المنتجة تتمشى مع امتداد متواضع للتكنولوجيا الحالية للحفر النووي.

هـ - كميات النويدات المشعة المتسربة الى الجو تتمشى مع خبرة الولايات المتحدة في الحفر النووي.

و - خبرة الحركة الارضية من الانفجارات الامريكية اعتبرت قابلة للتطبيق على برزخ كرا.

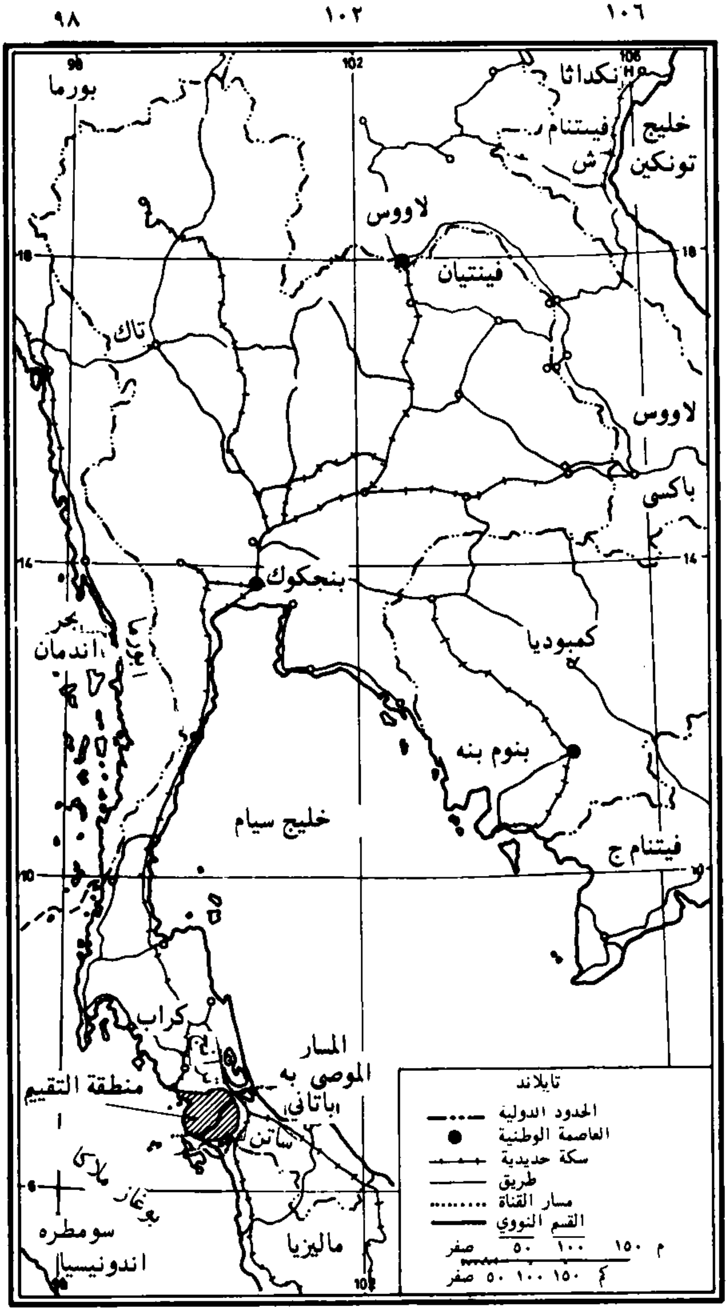
ز - استخدمت تكلفة قدرها ٢ مليون دولار للانفجار الواحد. وهذه التكلفة تتضمن الاداة النووية وثقب الموضع ودراسات الأمان المتصلة بالموضوع وكل الاعمال المرتبطة بالانفجار. ولم يدخل فيها تكاليف الاخلاء المؤقت للسكان واعادة تسكينهم.

ح - كمية العمل التصحيحي لتحريك التربة تقليدياً في مناطق الربط بين مجموعات منفردة غير معروفة، ولكن من غير المتوقع أن تزيد عن عشر الحجم المحفور بالهندسة النووية

وقد فحصت ستة مسارات محتملة للقناة.

ومن بين هذه المسارات وقع اختيار المستشارين على مسار يقع في جنوب تايلاند، شكل ١٩. ومن المنتظر أن يكون الطول الكلي للقناة فوق هذا المسار ١٠٢ كم. وأقصى ارتفاع يلزم شقه ١٥٠ م. والارتفاع الأعلى يتكون مبدئياً من تكوين حجر جيري متكتل تتخلله طبقات من طفل جيري أو رملي.

وتتحقق أقصى وفورات في التكاليف باستخدام الحفر النووي حينما تكون ارتفاعات التضاريس على خط القناة أعلى ما تكون. وهذا الاعتبار،



شكل (١٩) تايلاند والبلدان المجاورة والمسار المقترح للقناة (٨٨)

مع حقيقة أن الكثافة السكانية أدنى ما تكون في القسم الغربي من مسار القناة، أدت الى اختيار الجزء بين ١١ و٥٦ كم من الطرف الغربي للقناة للحفر النووي. وتصمم خطة الحفر النووي لحفر ١ر٢ × ١٠^٩ م^٣ من التربة. وهذا سيقابل احتياجات التصميم لمنشور تشغيل قناة في مستوى البحر ذي عمق ٣٣ر٥ م وعرض عند القاع ٩٨ م، قادر على أن يتسع لشاحنات ٥٠٠٠٠٠ ط ت م (طن تحت الماء) محملة بالكامل. وهو يستدعي ١٨٠ انفجاراً تطلق في ٨ مجموعات بحصيلة كلية ٤١ر٣٥ م ط. وثمانية وتسعون من هذه الـ ٣٩ شحنة نووية ذات حصيلة فردية ٣٠٠ ك ط أو أقل. والامتداد من البيانات القائمة عن ١٠٠ ك ط الى ٣٠٠ ك ط تدخل بشكل طيب في نطاق درجة التقبل التخطيطي المستخدمة في هذه الدراسة الأولية. أما الامتداد الى ١ م ط، وخاصة في صخور الحجر الجيري، فيدخل فيه درجة أكبر من الشك يمكن أن تؤدي الى بعض المواءمة في الحصائل، ولكن ليس من المتوقع أن تؤثر في موضوع الجدوى التقنية. والوقت الاجمالي المطلوب لتنفيذ هذه الخطة من الانفجار الاول حتى الأخير (بما في ذلك وقت احتياطي الطوارىء) يقدر بستة عشر شهراً. وعدد أيام الانفجارات الفعلية الداخلة فيها ينتظر أن يكون أربعة.

وفي حدود القيود على الدراسة السابقة للجدوى، فقد درست زيادة على ذلك أوجه الأمان المختلفة، التساقط الخارجي المحلي والاشعاعية المرتبطة به، والمسارات الطويلة المدى للسحابة، والاعتبارات البيئية الحيوية، والتنبؤات بالحركة الأرضية، واعتبارات الفرقعة الهوائية، مع أخذ الظواهر الخاصة بالمنطقة في الاعتبار. وفي هذه الناحية تصل الدراسة الى استنتاج أن حوالي ٢٠٠٠٠٠ ساكن محلي يعيشون في منطقة منع من ٢٧٢٠ كم^٢، كلها في تايلاند، ينتظر أن يلزم اخلاؤهم لمدة حوالي عام واحد بتكلفة حوالي ٦٠ مليون دولار والتي تعتبر تافهة بالنسبة للتكلفة الكلية للمشروع. وبحصيلة قصوى للشحنات

واحد ميجاطن، يمكن أن يكون الضرر الزلزالي أثراً حاكماً مع ضرر بسيط يمتد الى حوالي ٢٠٠ كم. وبرنامج الحفر المقترح يتصور عدة مجموعات من ٥ م ط. والاتجاه المطلوب لترسب التساقط الخارجي أختير على أن يكون نحو الغرب في القطاع بين ٢٥٥° و٢٨٥°. وبغرض أن السحابة الرئيسية من كل مجموعة ينتظر أن تعلو الى ارتفاع ١٦٨٠٠ م، فقد حدث ٢٦ يوماً برياح مواتية خلال الفترة ١٩٦٦ - ١٩٧٢، بمتوسط حوالي ٤ أيام في كل سنة اعتبرت الأيام الأكثر ملاءمة للحد من تعرضات التساقط الخارجي. وتشير تقديرات سفر السحابة طويل المدى الى تعرضات كلية قدرها ١٥ و١ ميللي رونتجين لجزيرتي نخبر وسومطرة بالتوالي. والخلفية الطبيعية في هذه المناطق حوالي ١٠٠ ميللي رونتجين في السنة.

والدراسات الأخرى مطلوبة فيما يخص قياس برامترات التفويه من مستوى الكيلوطن الى مستوى الميجاطن، والجيولوجيا والهيدروجيا المحلية، وظاهرية التفجير النووي في الحجر الجيري، وتقديرات الضرر الزلزالي، والحفر تحت الظروف المحلية، والمسارات الاشعاعية المحددة لسلسلات الغذاء المحلية.

وقد توصلت الدراسة السابقة للجدوى الى استنتاج أن القناة ذات الطول ١٠٢ كم، بالنطاقات الصناعية والأجزاء عميقة المياه المرتبطة بها، كانت مجدية من الناحية الهندسية ويمكن أن تكون صالحة اقتصادياً باستخدام التمويل العام والخاص. والتصميم الأمثل لمواجهة طلبات التجارة البحرية في القرن الواحد والعشرين كان ذلك الذي ينتظر أن يتسع لشاحنات ذات قدرة ٥٠٠٠٠٠ ط ت م في اتجاه واحد من الغرب الى الشرق. وينتظر أن يكلفه هذا ٦ر٥ ألف مليون دولار (بالدولار الامريكي عام ١٩٧٣) بالانشاء التقليدي وأن يستغرق ١٢ سنة للاتمام وأن يتطلب حفراً قدره ٢ر٨ × ١٠^٩ م^٣ للتربة مما يجعله أكبر مشروع هندسي في العالم. وفي حدود قيود الدراسة السابقة للجدوى لم تكن هناك عوامل تقنية أو أمانية أو تشغيلية

قد تستبعد التنفيذ الناجح لقسم ت ن س في المشروع. وينتظر ان تسمح الهندسة النووية بوفورات تزيد على ألفي مليون دولار وأن تختصر وقت الانشاء بحوالي ٢ الى ٤ سنوات.

ولم تتخذ الحكومة التايلاندية حتى الآن أي قرار بكيفية السير بالمشروع أو بما اذا كان استخدام ت ن س من عدمه اختيار عملي في ضوء الاحتمالات العالمية القائمة.

٥ ـ مشروع قناة وصل نهري أورينوكو وريو ـ نجرو في فنزويلا:

لقد قامت فنزويلا بدراسة مكثفة لفحص جدوى استخدام ت ن س في انشاء قناة في ذلك البلد ليربط نهر أورينوكو بنهر ريو ـ نجرو (ملخص ٥). ومع الأسف فان الوثيقة الوحيدة المتوفرة عن هذا المشروع كانت تلك التي قدمها ر. باز ـ كاستللو وب. كروجر (٨٩) بالاسبانية. وعلى أي حال، فلأخذ فكرة عن المشروع سنقدم هنا خلاصتها التي كانت متوفرة بالانجليزية.

ان التطور الاجتماعي والاقتصادي في المستقبل لأرض الأمازونس الاتحادية في فنزويلا يتوقف على امكانية زيادة التسهيلات للنقل الداخلي العام للبضائع. ومن المنتظر أن تكون تسهيلة رئيسية هي امتداد الصلاحية الملاحية للبضائع المشحونة عبر الاورينوكو عميقاً داخل الأرض الاتحادية. ويمكن أن يطور امتداد الصلاحية الملاحية أكثر بحفر الفاصل بين الاورينوكو ونهر ريو ـ نجرو، وهما رافدان للأمازون في البرازيل. واقامة ممر مائي صالح للملاحة ينتظر أن يساعد بشكل كبير في التنمية الاقتصادية للأرض الاتحادية وأن يوفر وسيلة لتوسيع التجارة بين فنزويلا والبلدان المجاورة، البرازيل وكولومبيا. وقد فحصت الصفات الجغرافية لمنطقة الفاصل وصمم مجرى مائي يمكن انشاؤه بطرق الحفر الحديثة. وخط طوله حوالي ٦٢ كم يربط بين نهر أتابابو وهو رافد

للاورينوكو وبين نهر جوسينيا وهو رافد للريو ـ نجرو مجدياً اقتصادياً. والتقديرات من البيانات الهدروطقسية تشير الى أنه يوجد سيل كاف لمساندة قناة ملاحية بعرض أدنى ٧٧ م لمراكب ذات غاطس ٣ م. وقد قدر أن المجرى المائي مصمم للانشاء بالجمع بين التفجيرات الكيميائية عالية الطاقة والتفجيرات النووية وعمليات ملائمة للاطلاق ورفع الحطام. والمتطلبات للخط المختار تتضمن اجمالياً من ٩٢ ك ط من المتفجرات الكيميائية عالية الطاقة للحفور أقل من ١٧ م عمقاً، و١٥٧ متفجراً نووياً ذا ١٠ ك ط لحفر ١٥٫٥ كم خلال الفاصل والتكلفة الكلية لحفر المجرى المائي، على أساس تكاليف ١٩٧٢ للمتفجرات الكيميائية وبأسعار خدمات التفجيرات النووية التي أعلنتها لجنة الطاقة الذرية الامريكية، حوالي ١٩٥ مليون دولار. وقد درس الأمان الميكانيكي والراديولوجي للحفر ولا تبدو أي قيود غير مناسبة. وان أرض الأمازونس الاتحادية في حالتها التي لا زالت غير متطورة فعلياً تمثل مشاكل قليلة لاعادة التسكين. وقد أعد برنامج للاطلاق والدخول ثانية يمكن أن يجعل انشاء الممر المائي أمرا ممكناً على مدى فترة أربع سنوات.

ولا تتوفر أي معلومات حتى الآن عن اتخاذ أي خطوات أخرى بعد هذه الدراسة.

٦ - مشروع قناة منخفض القطارة المصري:

يغطي منخفض القطارة مساحة حوالي ١٩٥٠٠ كم^{٢} في الصحراء الغربية لمصر، عدة عشرات من الكيلومترات جنوب البحر الابيض المتوسط بعمق أقصى ١٣٧ م وبمتوسط عمق ٧٠ م تحت مستوى البحر. وقد فحصت منذ عام ١٩١٦ امكانية انتاج القوى الكهرمائية بالسماح لمياه البحر التي تمر خلال قناةأو نفق بالسقوط الى المنخفض. وسيسمح التبخير الشمسي للماء من المنخفض بسيل كاف للماء من البحر الى المنخفض لفترة ممتدة من الزمن. وقد فحص الجبيلي

وزملاؤه (٥٥) في ١٩٧١ الاحتمالات في امكان استخدام التفجيرات النووية لحفر قسم رئيسي من القناة، فالهضاب والجبال ترتفع من عدة أمتار جنوبي البحر الى أكثر من ٢٠٠ متر بالقرب من حافة المنخفض. ومع أن السقوط ينتظر أن يكون ٦٠ م، الا أن وجود خزان عالي الارتفاع وذي قدرة ٥٠ × ١٠^٦ م^٣ عند جزء معين من حافة المنخفض يمكن أن يسمح بنظام تخزين بالضخ يغطي طلبات الذروة حتى ٤٠٠٠ م وبسقوط ٢٨٠ م. وبعد ذلك قدم باسلر (٩٠) في ١٩٧٣ دراسة سابقة للجدوى. وفي عام ١٩٧٥ أنشئت هيئة لمنخفض القطارة في مصر. وقد كانت هذه الهيئة تقوم مع مؤسسات مصرية أخرى معنية بالمرحلة الاولى من دراسة جدوى المشروع على مدى السنوات الأربع الماضية بالتعاون مع خمسة بيوت خبرة ألمانية غربية وبيت خبرة مصري واحد. وينتظر أن تنتهي دراسة الجدوى خلال النصف الثاني من عام ١٩٧٩.

وقد وصف الشاذلي (٩١) الدراسة السابقة للجدوى والنقاط الرئيسية التي تبحث في دراسة الجدوى. وسنذكر هنا الملامح الأساسية لهذا الوصف.

في دراسة ما قبل الجدوى أختير مسار طوله ٧٩ كم ويقع على بعد ١٧٦ كم غرب الاسكندرية من بين مسارات ثلاثة جرى بحثها. وينتهي هذا المسار عند حافة نجد مرتفع يحمل الخزان الطبيعي. وسيكون لمسار القناة مقطع عرضي للسيل قدره ١٤٠٠٠ م^٢ وعرض لسطح الماء حوالي ٢٠٠ م. ويمكن أن يحفر اجمالياً حوالي ٦٨ كم باستخدام ٢١٣ متفجراً نووياً. والحصيلة القصوى لأي مجموعة معينة ينتظر أن تكون في حدود ٥ر١ م ط. وقد قدرت الحصيلة الاجمالية لجميع التفجيرات عند ١٥٥ م ط. والمنطقة جرداء نادرة الخضرة ضئيلة السكان وتبعد عن دلتا النيل الآهلة بالسكان بمسافة تقارن بالمسافة بين موقع اختبارات نيفادا وبين مدينة لاس فيجاس بالولايات المتحدة. ومن المنتظر أن تنخفض الاشعاعية المتسربة باستخدام متفجرات نووية ذات

حصيلة انشطار منخفضة، وباطلاقها في أيام ذات رياح مواتية (الرياح السائدة تتجه في غالبيتها نحو الصحراء في الجنوب) وباخلاء السكان المحليين (~٢٥٠٠٠ شخص) الذين يعيشون داخل ٨٠ كم من المسار.

ويتوقع كخطوة أولى إنشاء محطة قوى كهرمائية قرب المنخفض. ومن المنتظر أن يمتلىء المنخفض في حوالي عشر سنوات الى مستوى ٦٠ م تحت مستوى البحر. وينتظر أن تكون قدرة المحطة في المتوسط ٦٧٠ م ولمدة ٨٥٠٠ ساعة في السنة. وينتظر أن يكون التأثير الشمسي مكتمل الفاعلية (معدل التبخير = معدل التدفق)، فقط بعد حوالي ١٠ سنوات. ويتوقع ان تعمل المرحلة الثانية كمحطة حمل ذروة ذات ١٢٠٠ م ولحوالي ٦ ساعات يومياً. وينتظر أن تكون المرحلة الثالثة محطة تخزين بالضخ مستقلة من ثلاث وحدات كل منها ٤٠٠ م وتقع عند مسافة المنخفض، باستخدام الخزان ذي الارتفاع العالي من ٢٢٠ م للتخزين. وينتظر أن تستخدم محطة التخزين فائض القوة في شبكة القوى الموحدة المصرية أثناء الساعات خارج الذروة لرفع الماء الى خزان التخزين، وأن تسمح بعودة الماء من خلال الوحدات الثلاثة ذات ٤٠٠ م وحينما يحتاج الى القوى. وينتظر أن تكون قوى الذروة الاجمالية التي يحصل عليها ٢٤٠٠ م و. ويمكن في النهاية رفع قوى الذروة في مراحل تالية الى ٨٠٠٠ م و ويتوقف ذلك على فائض القوى الذي يتوفر في الشبكة.

وقد قدر أن انشاء القناة النووية سيكلف ٧٩٠ مليون مارك الماني بينما ينتظر أن يكلف انشاء نفق بالطرق التقليدية ٣٧٤٤ مليون مارك الماني. وتكلفة رأس المال الكلية حوالي ٣٠٠٠ مليون مارك ألماني للمراحل الثلاث لمشروع القطارة بقناة محفورة بواسطة ت ن س بالمقارنة بحوالي ٧٨٢٠ مليون مارك الماني لبديل النفق.

وفي دراسة الجدوى (٩١) التي لا زالت جارية أختير نفس المسار الذي أختير في الدراسة السابقة للجدوى وهو ذو ارتفاعات تتراوح بين + ٥٠ م

بالقرب من الشاطىء و+ ٢٣٠ م بجوار المنخفض. وقد يحفر حوالي ٦٠ كم بالتفجيرات النووية. وستقيم دراسة الجدوى أربع طرق بديلة لنقل ماء لبحر بقناة أو نفق، واثنتان منها مبنية على استخدام ت ن س في الحفر.

والمقطع الجيولوجي المعروف حالياً على امتداد مسار القناة المختار يتكون من رمال متعددة الألوان وطمى وغرائن تتخللها طبقات من الحجر الرملي والطفلات. ويوجد حصى وجبس بين الفينة والفينة بينما يوجد عادة أحجار جيرية رفيعة نحو القاعدة. وهذه الرواسب مغطاة باحجار جيرية ومرل ومعها قليل من الطمى أو الغرائن والاحجار الرملية بينما يمكن أن يقابل الجبس بكثرة. والأوساط المحيطة بمسار القناة وبالمنخفض تسودها الظروف العامة للصحراء الغربية المصرية لمسافات ضخمة باستثناء النطاق الساحلي للبحر الابيض المتوسط الضئيل السكان، والسكان القليلون مركزون في مدن وتجمعات قليلة. وسوف تحفر الكيلومترات الستة عشر الأولى جنوب البحر بالطرق التقليدية.

ولاسباب هندسية مختلفة أختير مقطع عرضي للسيل من ١٠٠٠٠ م^2 للقناة غير المبطنة وبنيت تصميات التفويه على مقطع عرضي أدنى مبتل من ١١٠٠٠ م^2 وبالتالي متوسط عرض عند خط الماء قدره ٣٠٠ م وعمق ٥٠ م بالتقريب. ومع أن بديلا آخر يؤخذ في الاعتبار الا أن التركيز حتى الآن على قناة في مستوى البحر.

وبهدف المقارنة فحصت حصائل متفجرات نووية غير محدودة وحصائل مجموعات حتى ٥ الى ٦ م ط. وهذه المقارنة مشوقة من الناحية النظرية فقط ولكن لا يمكن أن يكون لها تنفيذ عملي حيث أن هذه الحصائل تذهب بعيداً عن الالتزامات التي ترتبط بها الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي تحت معاهدة التفجيرات النووية تحت الأرض لعام ١٩٧٦ والتي قدمناها تحت الفصل الثاني من هذا التقرير. ومن ناحية أخرى فان دراسة الجدوى تبحث

بالتفصيل المتفجرات النووية بحصيلة قصوى ١٥٠ ك ط وبحصيلة قصوى للمجموعة ٥ر١ م ط والتي تقع داخل الحدود التي تشترطها تلك المعاهدة. وفي هذه الحالة ينتفع من تعزيز أبعاد الفوهات بالتباعد الضيق للمتفجرات. وباستخدام متفجرات ذات ١٥٠ ك ط ينتظر أن يكون العدد الكلي للمتفجرات ٤٣٩، وحصائل المجموعات ٥ر١ م ط، والعدد الكلي للمجموعات المطلوبة ٤٤، والحصائل الكلية للمتفجرات ٩ر٦٥ م ط، والطول الكلي لثقوب الموضع المحفورة ٧ر١٤١ كم.

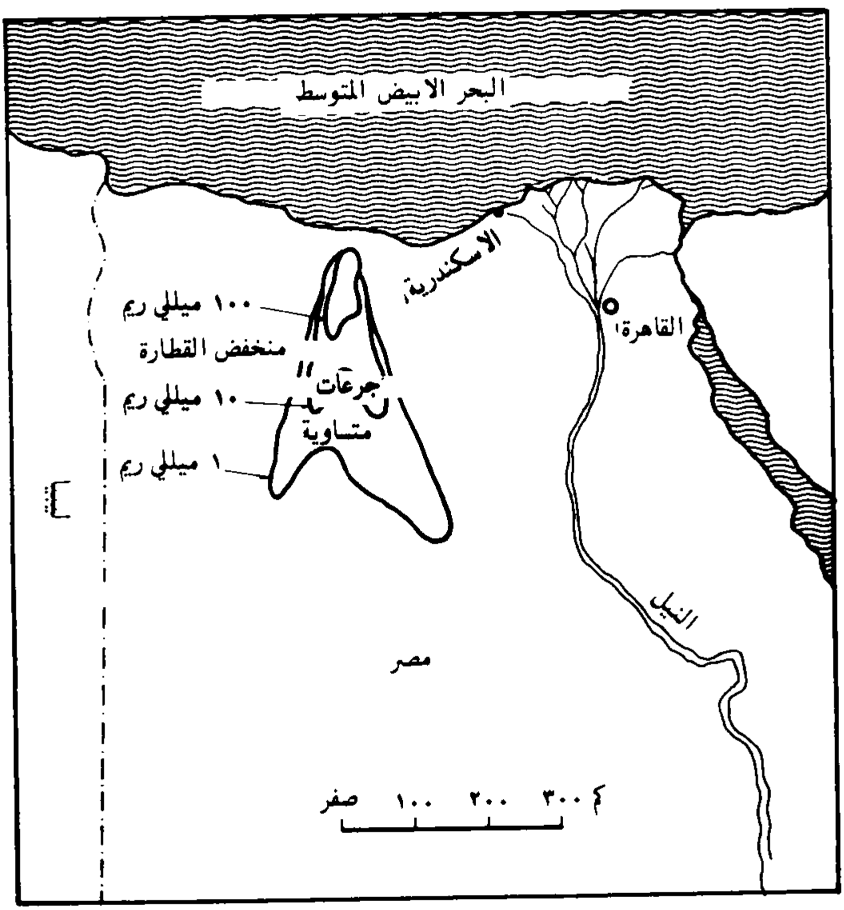
ولا زال هناك عدد من الشكوك التقنية يتطلب دراسة ومعلومات اضافية مثل تأثيرات تفجيرات التفويه من حجم ميجاطن وسريان مفعول مبدأ التعزيز للشحنات الضخمة جداً. ويمكننا أن نضيف الى ذلك الخصائص المميزة للتفويه النووي للتكوين الجيولوجي المعين على مسار القناة المختار. وينتظر ان يقدم تقرير الجدوى اقتراحات عن الكيفية التي يتم بها التعامل مع هذه الشكوك.

ويناقش الشاذلي (٩١) فوق ذلك معطيات لمثل هذه القناة متضمنة حركة الأرض، والفرقعة الهوائية، والسحابة الرئيسية والجيشان القاعدي، والاشعاعية ويبين أنه نظراً للموقع الصحراوي للمشروع وبعده وانعزاله عن المناطق الآهلة بالسكان وأن اتجاهات الرياح السائدة في غالبيتها من الشمال الى الجنوب في الصحراء فان المشروع يمكن أن ينفذ بأمان بشرط أن تختار ظروف طقس مناسبة لاحداث الانفجار وأن تراجع الانشاءات القريبة وأن ينظم الاخلاء المسبق والمؤقت من المنطقة خاصة في قطاع اتجاه الريح. ولقد تم التوصل الى نفس هذا الاستنتاج في دراسات كل القنوات السابق وصفها. وفي جميع الحالات فان الرقابة الاشعاعية المستمرة عند الاطلاق وبعده أمر مطلوب.

وللحصول على فكرة عن أنماط جرعات التساقط الخارجي عملت حسابات على مجموعة ذات ٥ر٦ م ط تفجر في يوم نموذجي مقبول ورسمت الجرعة

المطلقة الكلية (بالميللي ريم) ، شكل ٢٠ . ويصل خط الجرعة المتساوية ذات ١٠٠ ميللي ريم الى حوالي ١٢٠ كم ، وجرعة العشرة ميللي ريم الى حوالي ٢٧٥ كم ، وجرعة الواحد ميللي ريم الى أبعد من ذلك. ويتضح من هذا الشكل أن التعرض الاشعاعي المحتمل ذا الدلالة محصور عملياً في المنطقة الصحراوية لمنخفض القطارة ذاته.

وقد أشار تقدير مؤقت لتكلفة القسم النووي لمشروع القطارة مبني على



شكل (٢٠) مثال لاغماط جرعات التساقط الخارجي النموذجية (٩١).

أساس فروض اتخذت بالرجوع الى دراسات مشروع قناة بنما الى تكلفة كلية حوالي ٥١٠ مليون دولار لحالة الحصيلة غير المحدودة و٨٢٠ مليون دولار تقريباً لحالة أقصى حصيلة ١٥٠ ك ط.

وفي النهاية يمكن أن نلاحظ أن دراسة الجدوى لم تنته بعد، وعندما تقدم قبل نهاية هذا العام سيصبح المشروع بكل جوانبه وبالمقارنة بين الطرق البديلة التقليدية والنووية أكثر وضوحاً.

ويمكن أن نذكر كذلك أنه لم يتخذ أي قرار بواسطة أي سلطة مصرية عن ماهية التكنولوجيا التي ستستخدم في انشاء المر المائي للقطارة كما أنه لم يوجد أي اتجاه رسمي لصالح الاختيار النووي أو البديل التقليدي.

٧ - تقييم انشاء القنوات بواسطة ت ن س:

لقد أعطي التقييم التالي لامكانية استخدام ت ن س في انشاء القنوات في تقرير المجموعة الاستشارية المخصصة (٩):

أ - الشكوك التقنية:

ان الشكوك التقنية الرئيسية المتصلة باستخدام المتفجرات النووية في انشاء القنوات بحصائل بالقرب من الميجاطن أو أكبر تتضمن تلك المتصلة بخصائص وأبعاد الفوهات التي ينتظر أن تنتج بمتفجرات وحيدة أو صفية؛ ملاءمة هذه الفوهات للقنوات في أوساط جيولوجية مختلفة؛ الخصائص الهندسية مثل استقرار ميول الخنادق التي تكونها شحنات صف لمتفجرات نووية وتغير هذه الخصائص من تكوين جيولوجي لآخر؛ طبيعة ومدى التحريك التقليدي للتربة والحفر التقليدي المطلوبة لتعديل الخنادق المنتجة بالتفجيرات النووية؛ والمستويات الاشعاعية من التساقط الخارجي من تفجيرات التفويه النووي.

ب ـ عوامل الموقع الخاصة:

(١) التنبؤات بأبعاد وخصائص الفوهات التي ينتظر انتاجها بالتفجيرات النووية مطلوبة لقرارات التخطيط والجدوى للقنوات المقترحة. ولهذه التنبؤات يحتاج الى البيانات الجيولوجية التفصيلية عن خصائص المواد على مجرى المسارات موضع الاعتبار مع معرفة دقيقة للعلاقة والشكوك فيها بين حصائل المتفجرات وبرامترات الفوهات لمدى الحصائل والجيولوجيات وثيقة الصلة.

(٢) البيانات الهيدروجرافية التفصيلية يحتاج اليها لبرامترات تصميم قناة ما ولتقدير أثر القناة على المياه السطحية القائمة في المنطقة وعلى استخدامها الحالي والخطط.

(٣) البيانات الهيدروجرافية التفصيلية يحتاج اليها لتقدير تأثيرات المياه تحت السطحية على انشاء وتشغيل القناة وتأثيرات انشاء وتشغيل القناة على مصادر مثل هذه المياه واستخدامها.

(٤) البيانات الطقسية الواسعة المتصلة بالماضي يحتاج اليها للتنبؤات بنقل وترسب الاشعاعية من تفجيرات التفويه، وللتنبؤ بالشذوذات المحلية في هذا الترسب الناشئة عن ظواهر مثل الاكتساح بالمطر، وللتنبؤ بحدوث وثبات أحوال جوية ملائمة للانفجارات النووية. والمعلومات الطقسية الى جانب غيرها يحتاج اليها كذلك لتقدير التأثيرات الجوية الممكنة لانشاء وتشغيل القناة.

(٥) اخلاء السكان واعادة تسكينهم من المناطق المحيطة بمواقع الانشاء مطلوبة للوقاية من التأثيرات الراديولوجية والزلزالية. ولتخطيط وتقدير هذا الاخلاء واعادة التسكين فالبيانات التفصيلية مطلوبة عن كتابة وتوزيع السكان والاحصاءات الوثيقة الصلة عن السكان من النواحي الاجتماعية والوظيفية والاقتصادية.

(٦) ولتقدير أثر التلوث الاشعاعي والضرر الزلزالي ولتخطيط اجراءات الوقاية منها يحتاج الى بيانات لكل المناطق التي يمكن أن تتأثر عن الاستخدام الحالي والمخطط للمناطق في أنشطة مثل الزراعة وصيد الاسماك والتعدين واستخراج مصادر أخرى والتصنيع والتجارة.

جـ - معطيات الأمان:

(١) يجب أن تختار ظروف الطقس عند وقت الاطلاق لتفادي تأثيرات الانكسار الجوي التي ينتج عنها فوق ضغوط للفرقعة الهوائية تحطم النوافذ على مسافات كبيرة من موقع التفجير. والفرقعة الهوائية القريبة (المباشرة) أقل تقييداً من حركة الأرض.

(٢) المخاطر للأفراد منخفضة ويخضع ذلك لتعيين مناطق اخلاء مؤقت من حجم ملائم لحصيلة التفجير والانذار المناسب بوقت الاطلاق والتعليمات المناسبة للسكان المتأثرين. ويمكن التنبؤ بالضرر للمتلكات ويخضع ذلك للمعرفة الملائمة بالجيولوجيا وللمراجعة المناسبة للانشاءات.

(٣) سيكون هناك خطر راديولوجي مباشر بسبب التساقط الخارجي القريب والمتوسط والبعيد، ويمكن أن ينتج عنه «بقع حارة» محلية خاصة اذا حدث ترسيب بالاكتساح. وهذا سوف يستلزم اخلاء مخططاً للناس من النطاق القريب. وينصح أن تتخذ ترتيبات احتياطات طوارىء للاخلاء على مسافات أكبر اذا بدا أن مستويات الاشعاع يمكن أن تصل الى قيم غير مقبولة بسبب احداث غير متوقعة مثل حدوث تغير ذي دلالة عما سبق التنبؤ به. وهذا يقتضي توفير تسهيلات واسعة للرقابة.

وعدد التفجيرات المنفصلة (وحيدة أو متعددة) لمشروع واحد من المرجح أن يكون كبيراً، عشرات أو مئات - أكبر كثيراً من عدد تفجيرات التفويه التجريبي التي أجريت حتى الآن. والبيانات المتوفرة حالياً يمكن عندئذ أن

تكون غير ملائمة لاهداف التنبؤ الراديولوجي ، خاصة اذا كانت الاحوال الجيولوجية والطقسية في منطقة القناة مختلفة عن ظروف التفجيرات التجريبية حتى الآن.

وتتوقف النتيجة الراديولوجية على أحوال الطقس وهذه كثيراً ما تكون مشكوكاً فيها ، وعلى أي حال فانه توجد أنماط جوية مستقرة لمدد طويلة في مناطق كثيرة.

د ـ المعطيات الصحية:

تتوقف المعطيات الصحية كلية تقريباً على كمية الاشعاعية المتسربة الى المحيط الحيوي ومصيرها النهائي. وتتوقف الكمية المتسربة على حصيلة التفجير والخصائص المميزة للمتفجر وجيولوجيا الموقع. وانه لمن الممكن والمرغوب فيه عامة ، ولكن ربما فقط بتكلفة اضافية ، أن تستخدم متفجرات تنتج حداً أدنى من نواتج الانشطار ومن المادة الانشطارية المتخلفة ومن التريتيوم وحداً أدنى من نواتج التنشيط داخل علبة المتفجر والتربة المحيطة والقسم من المادة المشعة المتسرب الى الجو يمكن أن ينقص « بالدفن الزائد » (وبالتالي انقاص فاعلية المتفجر في التفويه). وهذه الحقائق جميعها وظروف الطقس تحدد كمية الاشعاعية المتسربة الى الجو ومصيرها النهائي. وعلى أساس تفجيرات تجارب التفويه فان القسم المتسرب يمكن تقديره وربطه بحسابات النقل وظروف الطقس المفترضة لتقدير التلوث الاشعاعي المتوقع في النطاق القريب والمتوسط والبعيد.

ومتوقفاً على الهدف المعتزم من القناة (ماء الشرب ، الزراعة ، الملاحة ، القوى الكهرمائية الخ) سيكون من الضروري أن يدرس مصير الاشعاعية على الأرض ، وفي الماء الأرضي ، وفي ماء القناة وربما في مياه البحار والمحيطات في ارتباط بالدراسات عن العادات الغذائية للسكان المتأثرين.

هـ ـ المعطيات البيئية:

قد تكون هناك تغيرات في التوازن الايكولوجي في المنطقة المجاورة للقناة وفي كل مياهها الرابطة وخاصة عندما تربط نظماً ايكولوجية لم تكن مرتبطة سابقاً. وقد تحدث تغيرات في الجو بسبب الطبيعة الضخمة لمشروعات قنوات معينة. وهذه التغيرات على أية حال غير مرتبطة باستخدام التفجيرات النووية السلمية في المشروع.

و ـ عناصر التكلفة الرئيسية:

المتفجرات النووية (كثيراً منها سيكون مطلوباً لمشروع واحد)؛ الحفر والموضع (ثقوب ذات قطر كبير كثيراً ما تكون في تضاريس صعبة)؛ اخلاء السكان؛ الطقس/وقت الانتظار؛ الاحتياطات الراديولوجية؛ الضرر الزلزالي/ضرر الفرقعة (الاحتياطات والتعويضات)؛ التأخيرات التنظيمية غير المتوقعة؛ الانشاء التقليدي غير المتوقع (التعديل في أشكال التفويه النووي).

ز ـ بعض البدائل الاقتصادية والتقنية:

المعدات التقليدية لتحريك التربة والمتفجرات التقليدية. وقد يستخدم نقل الماء بالانفاق.

ح ـ مقارنة التكلفة بالبدائل:

يبدو أن وفورات التكاليف ممكنة بافتراض الجدوى التقنية ولكن من المنتظر أن تمتص التكاليف الاضافية للبحث والتطوير لاثبات الجدوى التقنية بعضاً من هذه الوفورات. وفي دراسة قناة أمريكا الوسطى في مستوى البحر قدر أن الشكوك في تقديرات التكلفة كبيرة بالمقارنة بفروقات التكلفة. ويفترض الاتحاد السوفييتي أن تكلفة انشاء قسم من قناة بيكورا ـ كولفا

بالتفجيرات النووية ينتظر أن يكون أرخص ثلاث مرات الى ثلاث مرات ونصف من استخدام الطرق التقليدية.

ط - عوامل خاصة:

هذا التطبيق يمكن أن يكون فوق كل التطبيقات الاخرى ذا ضرر لشعوب وبلدان لا تحصل على نفع مباشر من المشروع. فليست كثير من البلدان بحاجة الى مشروعات قنوات من الضخامة بحيث تستحق أن يؤخذ ت ن س في الاعتبار. ومن غير المرجح أن يصل عدد مثل هذه القنوات التي قد تبنى خلال الخمس والعشرين سنة المقبلة الى خمسة. وخلال هذه الفترة سيتضاعف تقريباً سكان العالم ويمكن أن تصبح مشكلة الكثافة السكانية أكثر شدة - ولكن الحاجة الى الري، الخ يمكن أن تزداد. وكل مشروع، في حالة استخدام ت ن س، من المنتظر أن يدخل فيه عشرات أو مئات من المتفجرات.

ومن المرجح أن تكون الحصائل كبيرة. والكثافة السكانية المنخفضة جداً أو الاستعداد لاخلاء أعداد كبيرة من الناس لمدة عدة شهور أو أكثر وعدم وجود أعداد كبيرة من المباني في المنطقة المباشرة لمسار القناة أمور جوهرية أساساً.

ي - الاستنتاجات:

ان الشكوك المتصلة بالتكلفة والفاعلية المقارنة للانشاء النووي والتقليدي كبيرة الى حد أنه يمكن التوصل الى استنتاجات قليلة بدون التحليل التفصيلي لمشروعات محددة. والبيانات المتوفرة لا تثبت أو تدحض امكانية أن الحفر النووي قد يسمح بوفورات ذات دلالة في التكاليف في ظروف معينة. ومن المرجح أن يكون عدد مشروعات القنوات التي قد تستخدم ت ن س صغيراً. واذا حدث أن تقديراً كاملاً للتكلفة قد اقنع بلداً بأنه يجب الأخذ بحفر ت ن س، فان عدد التفجيرات عندئذ قد يصل الى مئات وبعض الأضرار غير

القابلة للقياس قد تؤثر في أطراف ثالثة. وعلى ذلك فان هذا التطبيق من المرجح أن يتطلب أكثر من كل التطبيقات الاخرى محادثات دولية ضخمة قبل أن يستخدم. وأخيراً فيجب مواجهة امكانية أنه اذا بدىء مثل هذا المشروع على أساس المعرفة الحالية، فان الانشاء قد يلزم أن يوقف أو أن يستكمل تقليدياً في ضوء الخبرة المكتسبة بعد حدوث عدد قليل نسبياً من العدد الاجمالي المخطط للتفجيرات.

ثانياً ـ اقامة خزانات المياه

ينتظر أن يستخدم تفجير واحد أو تفجيران تفويهيان لتوفير تخزين مائي أما في حجم الفوهة أو خلف الشفة المدفوعة الى أعلى عند الفوهة التي تعمل كسد منخفض في وادي نهري (٩). وهدف هذا التطبيق هو توفير تخزين للماء للاستخدامات الزراعية وجوازاً للصناعية في المناطق من العالم التي يتوفر فيها الماء لهذه الاغراض بشكل ملائم ولكنه يأتي بكميات كبيرة اما موسمياً أو بشكل غير منتظم. وفي الحقيقة (١٠) فان مناطق كثيرة من العالم يحدث فيها سقوط الامطار بشكل مناسب للحفاظ على مجموعة مختلفة من الاستخدامات الزراعية ولكنه يجيء بكميات كبيرة في مناسبات غير منتظمة، وبالاضافة فان مثل هذه المناطق عادة ما تكون ذات طوبوغرافيا متآكلة جداً، مما يجعل انشاء السدود التقليدية ذا تكلفة عالية جداً لوحدة الحجم التخزينية. وفي مثل هذه الحالات يمكن أن ينظر في خلق خزانات نووية لتخزين الماء. ويمكن أن يستخدم التخزين كتحويل مصرفي بشكل متقطع لتفادي غمر المناطق الواقعة في اتجاه التيار.

فالمتفجرات النووية الوحيدة والموضوعة عند أعماق مناسبة تنتج فوهات ذات مقطع عرضي زائدي (٩). ويحطم التفجير المادة المحيطة قاذفاً بها الى أعلى والى الخارج. ويتساقط بعض المادة خلفياً الى الفجوة منتجاً فوهة

ظاهرية ويتساقط الباقي في الخارج مكوناً شفة الفوهة. وفي تكوين خزان للماء ينتظر أن يدفن المتفجر النووي بالقرب من النهر الذي قد يملأ أو يسد النقص في الخزان (الخزانات). وفي البداية يمكن أن ينشأ خزان باستخدام شفة الفوهة كسد ولكن قد يمكن عندئذ أن تستخدم الفوهة ذاتها كخزان بانشاء مجرى ملائم خلال شفة الفوهة تفجيرياً أو ميكانيكياً. ومن المنتظر أن تكون هناك ضرورة لعمل تقليدي معين لاستكمال المشروع وللسماح بمنفذ متحكم فيه لفائض المياه من الخزان (الخزانات).

وأن الأسعار المقبولة لوحدة حجم التخزين المائي تتوقف بدرجة كبيرة على متوسط وقت البقاء المحتمل للماء في التخزين واقتصاديات الاستخدام المعتزم (٨). وفي المناطق غير ذات المعالم قد يقدم تخزين الفوهات النووية احتمالاً أفضل لتحقيق تكاليف مقبولة عن تقنيات الخزانات التقليدية.

وأن تقييم الجدوى التقنية والصلاحية الاقتصادية لفوهة نووية لتخزين الماء في موقع معين يدخل فيها النظر في عوامل مثل:

(١) معدل الفقد المحتمل الى الطبقات المحيطة،
(٢) احتمال أن يحتاج الى أعمال مداخل ومخارج تقليدية لمنع التآكل بالماء المتدفق الى الداخل الذي يحدث فقدانا لكثير من الحجم المفيد،
(٣) الحجم المستخدم الكلي بفرض تدفق انجذابي الى الداخل والى الخارج،
(٤) تكاليف الضخ.

١ ـ المشروعات السوفييتية:

لقد أجري تفجيران نوويان في الاتحاد السوفييتي موجهان نحو تطوير خزانات تخزين الماء من خلال استخدام سدود شفاه الفوهات (٩). وكان المشروع «١٠٠٣» تفجيراً تفوهياً ذا ١ر١ ك ط أجري في صخر من نوع الحجر الغريني تقع فوقه طبقة من الطمى سمكها حوالي ٢٢ م وطبقة سطحية

من الطفال الرملي سمكها ٣ر٧ متراً . ووقع التفجير عند عمق ٤٨ متراً . وكان يوجد هناك نطاق مائي ارتوازي على عمق حوالي ١٤ ـ ٢٠ متراً . وكان للفوهة في البداية عمق ظاهري قدره ٣١ متراً ونصف قطر ظاهري ٥٣ر٥ متراً . ونتيجة للتبطيط تحت فعل المياه الارتوازية المتسربة الى الفوهة فقد نقص عمق الفوهة الظاهري الى ٢٠ متراً وزاد نصف قطرالفوهة الظاهري الى ٦٢ متراً خلال عامين . وبعد ساعتين من الطلقة النووية أطلقت شحنات صفية لمتفجرات كيميائية لحفر خندق خلال الشفة كان يمكن أن يستخدم كقناة ادخال لو أن الفوهة قد أنشئت بالقرب من قاع نهر . وفي ورقة سوفييتية (٨٦) وصف المشروع « ١٠٠٣ » بالتفصيل بالروسية وأعطيت اغراض التفجير وظروفه وبرامتراته التكنولوجية ونتائجه . ونوقشت خصائص التفويه المميزة للصخر ، وبرامترات الفوهة ، ونطاقي التحطيم والتشريخ ، ونتائج الدراسات الهيدرولوجية وطبيعة الماء المتدفق من الفوهة وتكون المعادن في هذا الماء . وتصف الورقة معايير التصميم الأساسية الداخلة في انشاء الخزانات وتؤكد على صلاحية مثل هذه المشروعات والحاجة اليها في المناطن الجافة من الاتحاد السوفييتي . وتعالج كذلك مكونات المجمعات الهندسية الهيدروليكية ، وقدرة الخزانات وبرامترات السدود والفوهات .

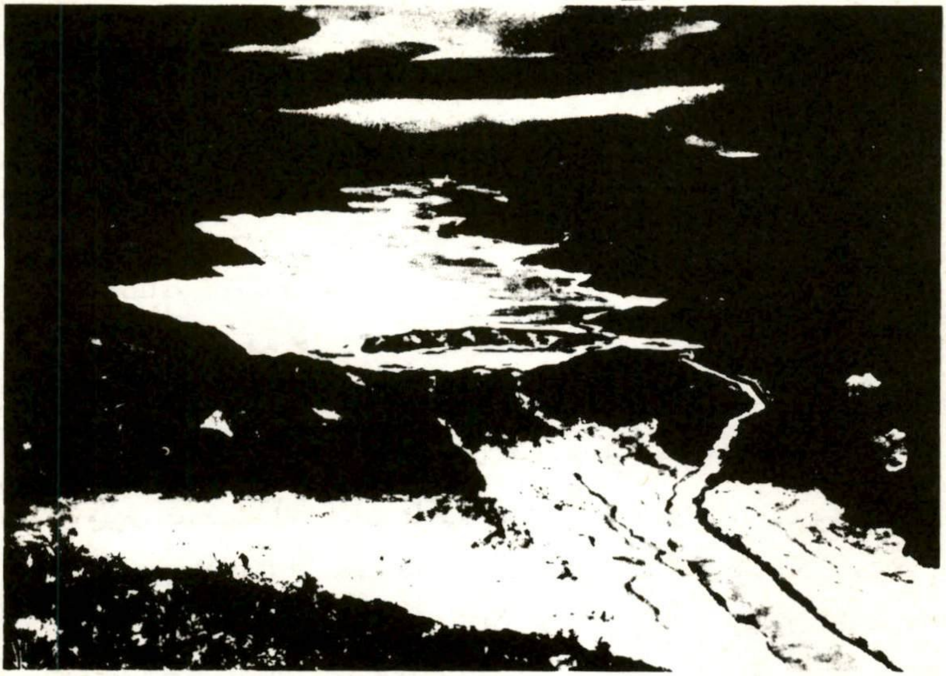
أما المشروع « ١٠٠٤ » فقد كان تفجيراً تفويهياً نووياً بحصيلة فوق ١٠٠ ك ط (٩) . وبعد الطلقة مباشرة كان للفوهة نصف قطر ظاهري قدره ٢٠٤ مترا وعمق ظاهري من ١٠٠ متر . وقد وضع المتفجر مباشرة بالقرب من قاع نهر كي تسد شفة الفوهة النهر وحتى يتكون خزان مائي كبير . وشق مجرى خلال الشفة لغمر الفوهة وتوصيل الخزانات . وقد أدى ملء الفوهة بالماء الى اعادة تكييف كبيرة لبعض ميول الفوهة . وقد قرر أن الفوهة قد استقرت في شكلها وأنها تخدم كخزان مفيد .

وقد اقترح الاتحاد السوفييتي مشروعاً آخر لسد بشفة فوهة في ١٩٧٠

يدخل فيه اجراء تفجيرين نووين من ١٥٠ ك ط لكل منهما عند عمق ١٨٥ متراً في قاع تيار بورفيريتي وبتباعد حوالي ١١٠٠ متراً بينهما. وأنصاف القطر والاعماق المتوقعة للفوهتين هي ١٨٠ متراً و١٠٥ متراً على التوالي. وشفاه الفوهتين التي يتوقع أن تكون السدين التوأمين يتنبأ أن يكون ارتفاعهما ٣١٫٥ متراً. ويتوقع أن تكون البحيرة خلف سدى الشفة ذات عمق ١٠ أمتار فقط وبطاقة كلية ٣٠ × ١٠^٦ م^٣. وينتظر أن تتوفر طاقة تخزين اضافية داخل الفوهتين قدرها ١٤ × ١٠^٦ م^٣. وأخذ في الاعتبار توفير قناة لتصريف فائض المياه وانشاء لتوزيع الماء وذلك لحسن استخدام المياه. واستخدام شفاه الفوهات كسدود مبين تصويرياً في شكل ٢١.

ويرى نورديك (١٠) أن مما يهتم به جداً في مثل هذا المشروع معدل التسرب من مثل هذا الانشاء. فاذا أصبح المعدل عالياً جداً فقد يمكن، متوقفاً ذلك على خصائص المادة، أن ينمي التآكل كسراً رئيسياً في جدران الفوهة مما يؤدي الى تخريب الخزان. ويمكن أن تتخذ اجراءات علاجية مثل التبطين بالجص للوجه في اتجاه التيار لمنع مثل هذه الحادثة. ونظراً لتوقفها على خصائص الصخر وطبيعة نطاق التشريخ الواقعة تحت شفاه الفوهة فان الوسيلة الفعالة الوحيدة للاجابة على مثل هذه الاسئلة في الوقت الراهن انما هي باقامة مثل هذا السد وتجهيزه الكامل لمراقبة سلوكه.

وبالنسبة لمشكلة الاشعاعية يقرر ويلسون (٨) أن دراسات الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي لسلوك الانقاض المشعة من التفجيرات النووية في بيئة هيدرولوجية توفر أساساً لتقدير التلوث الاشعاعي المرجح للماء المخزون في فوهة نووية. فاذا اتزنت النويدات المشعة في مادة التساقط الخلفي مع الماء في فراغات المسام فان تركيزات نويدات الانشطار في التساقط الخلفي المغمور تبقى قريبة من أو تحت مستويات القدرة على تحمل ماء الشرب المقبولة عالمياً. والاجراءات المقترحة لادارة المياه يجب ان تمسك بتركيزات التريتيوم عند



شكل (٢١) سد بشفة الفوهة (١٠)

مستويات مقبولة لبعض الاستخدامات النهائية حتى يجري تدوير المحتويات أو يزيل التبخير التريتيوم من الفوهة.

٢ - تقييم اقامة خزانات المياه باستخدام ت ن س

لقد قيم استخدام ت ن س في خلق خزانات مائية على الوجه التالي (٩).

أ - الشكوك التقنية:

ان الشكوك التقنية الأساسية تخص الصفات الهندسية للخزانات والسدود الناتجة وتغير هذه الصفات من تكوين جيولوجي الى آخر، السلوك طويل المدى للخزانات التي قد تحتاج لأن يكون عمرها عشرات أو حتى مئات السنين، طبيعة ومدى تحريك التربة والحفر التقليديين المطلوبين لتعديل الشكل الذي

أنتجه الحفر النووي ، المستويات الاشعاعية من التساقط الخارجي من تفجيرات الحفر النووي ، والتلوث الممكن لمياه الخزانات (وهذه الامكانية الاخيرة قد ذكر أنها لم تكن مشكلة في خزانات «١٠٠٤ »).

ب ـ عوامل الموقع الخاصة :

١ ـ البيانات عن الجيولوجيا مطلوبة لتقدير صلاحية الموقع بما في ذلك سلامة الخزان وللتنبؤ بأبعاد الفوهة واستقرارها وللتصميم العام للمشروع .

٢ ـ البيانات مطلوبة عن سيول الأنهار وعن كل الماء الأرضي في المنطقة وحركته من أجل تقدير ليس فقط امكانيات الخزان ولكن أيضاً التلوث الممكن للماء بالتريتيوم ونويدات مشعة أخرى .

٣ ـ بيانات طقسية واسعة متصلة بالماضي مطلوبة للتنبؤ بنقل وترسب الاشعاعية من تفجير التفويه وللتنبؤ بالشذوذات المحلية في هذا الترسب بسبب ظواهر مثل الاكتساح بالمطر وللتنبؤ بحدوث واستقرار ظروف جوية ملائمة للانفجار النووي .

٤ ـ اخلاء السكان واعادة تسكينهم من المناطق المحيطة بمواقع الانشاء مطلوبة للوقاية من التاثيرات الاشعاعية والزلزالية . ولتخطيط وتقدير هذا الاخلاء واعادة التسكين فالمعلومات التفصيلية مطلوبة عن الكثافة السكانية وتوزيع السكان والاحصاءات الاجتماعية والوظيفية والاقتصادية الوثيقة الصلة .

٥ ـ من أجل تقدير الأثر وتخطيط الوقاية بالنسبة للاشعاعية والضرر الزلزالي فان البيانات مطلوبة لكل المناطق التي يجوز أن تتأثر عن الاستخدام الحالي والمخطط لهذه المناطق لأنشطة مثل الزراعة وصيد الأسماك والتعدين واستخلاص مصادر أخرى والتصنيع والتجارة .

جـ - معطيات الأمان :

١ - يجب أن تختار ظروف الطقس عند وقت الاطلاق لتفادي تأثيرات الانكسار الجوي التي تنتج فوق ضغوط للفرقعة الهوائية ضارة للشبابيك على مسافات كبيرة من موقع الانفجار. والفرقعة الهوائية القريبة (المباشرة) أقل تقييداً من حركة الأرض.

٢ - المخاطر للأفراد من التأثيرات الزلزالية منخفضة ويخضع ذلك لتعيين مناطق اخلاء مؤقت من حجم ملائم لحصيلة التفجير والانذار الملائم بوقت الاطلاق والتعليمات الملائمة للسكان المتأثرين. ويمكن التنبؤ بالضرر للمتلكات ويخضع ذلك للمعرفة الملائمة للجيولوجيا والمراجعة المناسبة للانشاءات.

٣ - هناك خطر اشعاعي مباشر من التساقط الخارجي القريب والمتوسط والبعيد ويجوز أن يؤدي الى «بقع حارة» محلية خاصة اذا حدث اكتساح ترسيبي. وسيتطلب هذا ضرورة الاخلاء المخطط للناس من النطاق القريب. وعند مسافات اكبر ينصح أن تكون هناك اجراءات احتياطات طوارىء للاخلاء اذابدت امكانية وصول المستويات الاشعاعية الى قيم غير مقبولة بسبب أحداث غير متوقعة مثل تغير الجو بشكل ذي دلالة عن ذلك المتنبأ به. وهذا يتطلب توفير تسهيلات واسعة للرقابة الاشعاعية.

د - المعطيات الصحية :

تتوقف المعطيات الصحية كلها تقريباً على كمية الاشعاعية المتسربة الى المحيط الحيوي ومصيرها النهائي. وتتوقف الكمية المتسربة على حصيلة التفجير والخصائص المميزة للمتفجر وجيولوجيا الموقع. وأنه لمن الممكن ومن المرغوب فيه عامة، ولكن ربما بتكلفة اضافية، أن تستخدم متفجرات تنتج

حداً أدنى من نواتج الانشطار والمادة الانشطارية المتخلفة والتريتيوم وحداً أدنى من نواتج التنشيط داخل علبة المتفجر والتربة المحيطة. ويمكن أن ينقص القسم من المادة المشعة المتسرب الى الجو «بالدفن الزائد» للمتفجر (وبالتالي انقاص فاعلية المتفجر في التفويه). وجميع هذه الحقائق والظروف الطقسية تحدد كمية الاشعاعية المتسربة الى الجو ومصيرها النهائي. وعلى أساس طلقات التفويه التجريبية يمكن تقدير القسم المتسرب وربطه بحسابات النقل وظروف الطقس المفترضة لتقدير التلوث الاشعاعي المتوقع في النطاقات القريبة والمتوسطة والبعيدة.

ومتوقفاً على الغرض المعتزم للخزان (ماء الشرب، الزراعة، القوى الكهرومائية، التخزين بالضخ الخ) فسيكون من الضروري أن ينظر في مصير الاشعاعية على الأرض وفي المياه الأرضية وفي مياه الأنهار والقنوات.

هـ - المعطيات البيئية:

يمكن أن تحدث تغيرات في التوازن الايكولوجي في المنطقة المجاورة للخزان.

و - عناصر التكلفة الرئيسية:

من المرجح أن تكون عناصر التكلفة الرئيسية هي تلك التي تتصل بتوفير الخدمات المتصلة بالمتفجر النووي؛ الحفر؛ الأعمال التقليدية المرتبطة بذلك؛ برامج الأمان والبيئية؛ التعويض أو التأمين عن الضرر الزلزالي؛ وتأخيرات الطقس.

ز - بعض البدائل الاقتصادية والتقنية:

الانشاء التقليدي باستخدام المتفجرات الكيميائية ومعدات تحريك التربة ويمكن أن يدخل في ذلك سدود الانضاب.

نقل الماء من الخزانات القائمة اذا كانت موجودة في موقع ملائم بواسطة الأنابيب أو الضخ أو بمجارٍ مائية.

ح ـ مقارنة التكلفة بالبدائل:

من المرجح أن يكون الانشاء التقليدي أرخص في مناطق كثيرة حيث ينتظر أن تكون تكاليف الضرر الزلزالي/الاخلاء عالية. وأي وقت يوفر في العمليات الفعلية التي يدخل فيها استخدام ت ن س يمكن أن يعادل بالحاجة الى مزيد من التخطيط التفصيلي، والوقت اللازم للحصول على تصاريح الأمان، وتأخيرات الجو، والوقت للسماح للاشعاعية بالتحلل قبل أن يبدأ العمل اللاحق للطلقة.

ط ـ عوامل خاصة:

ان انشاء الخزانات باستخدام المتفجرات النووية من المرجح أن ينظر فيه فقط في المناطق غير النامية حيث الكثافة السكانية منخفضة وحيث يوجد تساقط للمطر/سيل للماء بقدر معقول ولكن على أساس موسمي أو غير منتظم. وفي الحالة التي تستخدم فيها الفوهة لتخزين الماء فانه يمكن أن يحتاج الى نوع من ترتيب للضخ اذا كان الماء سوف يستخدم للزراعة.

ولا توجد خبرة طويلة المدى عن سلوك الخزانات المنشأة بالمتفجرات النووية تتكافأ مع تلك المتوفرة للخزانات التقليدية.

ي ـ الاستنتاجات:

لقد أثبت هذا التطبيق من حيث المبدأ ولكن يوجد بعض الشك بالنسبة الى السلامة الطويلة المدى للخزانات الناتجة. وتتوقف التكلفة والفاعلية للتطبيق بدرجة كبيرة جداً على الموقع المعين. ويجب أن يربط خطر اخفاق ذي دلالة بالتطبيق الى أن تستعرض صلاحيته التقنية بالمراقبة الطويلة المدى لتشغيل واستقرار الخزانات المنشأة بالتفجيرات النووية.

ثالثاً - انشاء الموانىء

ينتظر أن تستخدم لهذا التطبيق تفجيرات تفوهية وحيدة أو متعددة لتكسر وتحرك الطبقات الأدنى لانشاء مجارٍ ملاحية وأحواض لارساء السفن (٩). والهدف من هذا التطبيق هو:

أ - تسهيل التنمية المعدنية والصناعية والزراعية بتوفير وسيلة للوصول الى الأسواق والامدادات؛

ب - رفع مرتبة الأمان الملاحي وملجأ السفن؛

جـ - التكيف مع الاتجاه الحالي نحو مراكب ذات غاطس أعمق.

ولتحضير الأرضية لهذا التطبيق قامت الولايات المتحدة لعدة سنوات بالعمل في برنامج لصياغة اختبارات تفجيرات الحفر النووي المخطط لها وفقاً لنموذج التفجيرات الكيميائية، ولتطوير التصميات والبيانات الهندسية والانشائية للمشروع. وقد لخص لافرنز (٩٢) هذا المشروع وأوضح أنه خلال ادارة هذا البرنامج أصبح واضحاً أن الحفر بالمتفجرات الكيميائية بشحنات كبيرة له مزايا كثيرة وأن تطوير الحفر بالمتفجرات الكيميائية كتقنية انشاء ذات تكلفة منافسة مقبولة سيسهل قبول الحفر بالمتفجرات النووية للمشروعات الكبرى. ولذلك كان تركيز البرنامج لبضع سنوات على استخدام الحفر بالمتفجرات الكيميائية لتطبيقات الهندسة المدنية. ومن بين عدد من التطبيقات استعرضت التقنية على مجرى نقل مائي في طفل الطمى وعلى ميناء في مرجان يعلوه الماء. ومن المتوقع أن أفضل تكلفة وفاعلية ستتحقق في تطبيق التقنية في تطبيقات الحفر في بيئة مائية. وقد استخدمت تسهيلة لاختبار النماذج في بحث تأثير وسط مشبع بالماء وحمل علوي مائي على شكل الفوهة وسرعات الركام. وفي هذه التسهيلة تبين أن شكل وأبعاد الفوهات حساسة جداً لعمق الحمل العلوي المائي في الرمل، وغير حساسة نوعاً ما مع مادة

عالية القوة. وقد لوحظت ميكانيكية اخفاق مؤثرة بشدة في شكل الفوهة على مشروع الميناء في مادة مرجانية. وحيث أنه لم تكن تتوفر خبرة للتفويه تحت الماء في المرجان أطلقت على انفراد أربع شحنات من طن واحد وشحنة واحدة من ١٠ طن في ١٩٦٩. وكانت الفوهات الناتجة من التفجيرات عريضة وضحلة وبدون شفاه. وأوضح التصوير الفوتوغرافي عالي السرعة للانفجار أن جدران الفوهات وقفت لعدة ثوان ثم سقطت شعاعياً داخل الفوهات عندما كان الماء يندفع خلفياً الى الفوهات. ومن ناحية أخرى فان قناة المدخل وأبعاد حوض الارساء وفقاً للتصميم قد قوبلت أو زيد عليها في جميع مناطق الحفر التفجيري. وستدرس الابحاث اللاحقة التفويه تحت الماء في وسط صخر صلب.

وان التصور النووي الأساسي هو خلق فوهة تحت الماء بتفجير (أو تفجيرات) نووية. فانشاء موانىء اصطناعية يدخل فيه عامة الحفر على نطاق ضخم، وكثيراً ما يكون تحت ظروف صعبة. وحيثما تكون المادة التي ستحفر صلبة نسبياً فقد يكون الحفر النووي جذاباً من الناحية الاقتصادية. وبعض التصميات الممكنة للموانىء تتضمن (٨، ٩):

١ - الازاحة البسيطة بعيداً عن الشاطىء للعوائق أو عمليات التعميق باستخدام شحنات وحيدة؛

٢ - حفر أو تعميق مجاري الاقتراب باستخدام شحنات صف؛

٣ - خلق موانىء بعيداً عن الشاطىء باستخدام شفاة الفوهات كوقاية ضد فعل الريح والأمواج والانتفاخ؛ و

٤ - الحفر فوق الشاطىء لأحواض تحويل وارساء؛

ومجموعة من هذه الاعمال.

والحفر الزائد في العمق أو في الابعاد السطحية من غير المرجح أن يثير اهتماماً ذا دلالة. وبالتالي يمكن ادراج هامش مناسب من الحصيلة في التصميم

لأخذ الشكوك في أبعاد الفوهات في الاعتبار.

ولم تستخدم أي تفجيرات نووية لهذا التطبيق (٩). وفي مجرى اختبارات المتفجرات النووية في الجزر المرجانية بالمحيط الهادي أنتج عدد من الفوهات (يصل نصف قطرها الى ١٨٠٠ متر) في الجزر المرجانية. وأدى استقرارها في السنوات التالية الى التكهن بالنسبة لجدوى انشاء موانىء مفيدة بالتفجيرات النووية.

وعلى أي حال فقد أجريت دراستان لاستخدام ت ن س الممكن في انشاء مشروعي مينائين، وهما مشروع شاريوت في الولايات المتحدة ومشروع كيب كيرودن في استراليا.

١ ـ دراسة مشروع شاريوت الأمريكي:

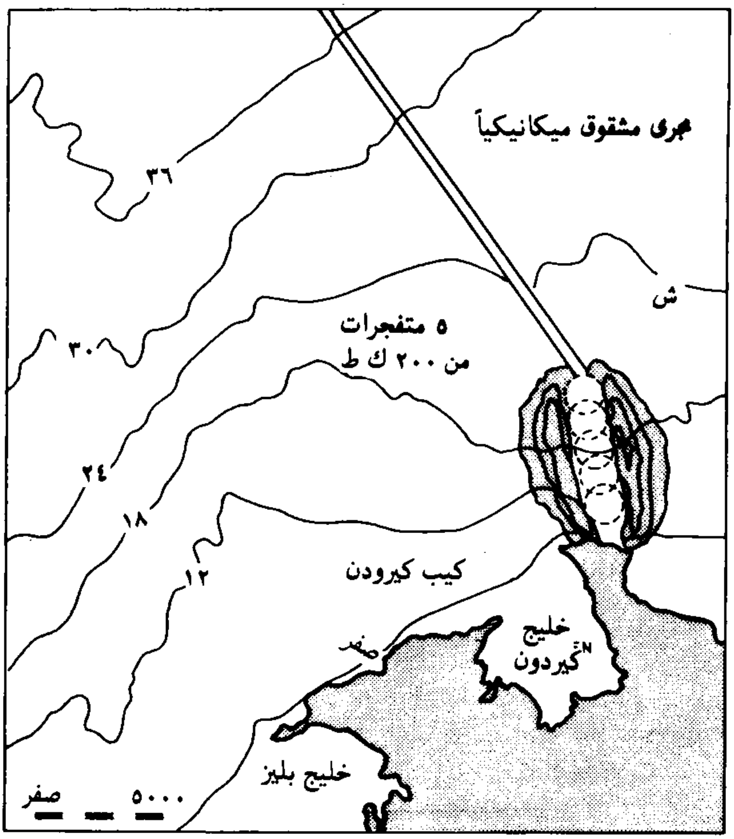
لم تدرس أية اقتراحات خارج مرحلة الدراسات الورقية الأولية (٩). وقد درس مشروع شاريوت (١٩٥٧ ـ ١٩٦١) كنموذج لانشاء الموانىء بالتفجيرات النووية. وكان المطلوب أن تجري في وقت واحد أربعة تفجيرات كل منها ٢٠ ك ط وتفجير واحد ذو ٢٠٠ ك ط عند قسم منعزل من ساحل ألاسكا لتكوين مجرى ادخال وميناء صغير. ولكن المشروع قد أسقط لأسباب منها أن الموقع من المنتظر أن ينتج نفعاً اقتصادياً صغيراً للمنطقة.

٢ ـ دراسة مشروع كيب كيرودن الاسترالي:

لقد قامت الولايات المتحدة في ١٩٦٨ بدراسة اقتراح لحفر ميناء خارج الشاطىء عند كيب كيرودن باستراليا محمي من عواصف الاعصار الحلزوني بشفاه الفوهة التي تمتد نحو ٢٠٠ الى ٣٠٠ قدم فوق سطح البحر. وقد وصف ويلسون (٨) هذا المشروع. فقد تصور الاقتراح خلق ميناء طوله ٦٠٠٠ قدم، وعرضه ١٣٠٠ الى ١٦٠٠ قدم، وعمقه ٢٠٠ الى ٤٠٠ قدم بالاطلاق في آن

واحد لخمس شحنات نووية ذات ٢٠٠ ك ط لكل منها على عمق دفن حوالي ٧٥٠ قدم وبتباعد قدره ١١٠٠ قدم. وقد اشارت البيانات الجيولوجية المتوفرة الى أن الفوهة ينتظر أن تقطع طبقات من الرمل الغريني والحجر الجيري من صلب الى رقيق وطبيقات بينية من رمل كوارتزي. ويوضح شكل ٢٢ تصور ميناء كيب كيرودن. ولم يتعد المشروع هذه الدراسة حينما أهملت مشروعات تنمية المصادر القريبة. ومع أن دراسة الجدوى لم تستمر نظراً لانسحاب الشركة التي تقدمت بالطلب في البداية الا أن النظرة المبكرة في الاقتراح لفتت النظر الى ندرة الخبرة الوثيقة الصلة بشكل مباشر والتي على أساسها يقدر التأثير الماء العلوي في مشروع تفويه بعيداً عن الشاطىء.

ويلفت ويلسون الانتباه الى أن شكل الفوهات المحفورة بعيداً عن الشاطىء في المواد عالية المسامية ضعيفة التماسك يمكن أن يعدل بقدر كبير بتأثير طبقة المياه الواقعة أعلاه. وحيث أن النمو الابتدائي للفجوة ينتظر أن يتكيف معه بالتضاغط فان مساهمة دفع الطبقات السطحية علوياً لخلق ارتفاع الشفة ينتظر أن يكون تافهاً وقد تعيد الموجة المرتدة ترسيب قسم كبير من التساقط الخارجي المكون للشفة في الفوهة. وفوق ذلك فان المياه التي يقلها التساقط الخلفي قد تجعله يتخذ خصائص من نوع الموائع أثناء الترسب بما يترتب على ذلك من تسوية قاع الفوهة. وقد يتمشى هذا مع نتائج طلقات المتفجرات الكيميائية الامريكية التي اطلقت تحت الماء في مرجان مرتفع المسامية والتي أعطت فوهات عريضة وضحلة وبدون شفاه. وان تسوية قاع الفوهة لن يكون مضراً. ولكن التصميات بعيداً عن الشاطىء التي تعتمد على تكوين شفاه فوهات مرتفعة فوق سطح الماء يمكن توقعه حالياً في التكوينات الصلبة منخفضة المسامية فقط والتي قد يكون لها مدى من أحجام الصخر المكسر والتساقط الخلفي ملائم لمقاومة حركة الماء الناتجة من التفجير وفعل الموجة والانتفاخ اللاحقين.



شكل (٢٢) تصور ميناء كيب كيردون (١٠).

وخاضعاً للموقف الجيولوجي المحقق للمعايير الضرورية لاستقرار الحفر فان التكنولوجيا الحالية يحتمل ان تكون ملائمة لبعض مشروعات الموانىء التي يمكن الاقتراب منها بقدر معقول من الثقة الهندسية.

٣ - تقييم تصور انشاء الموانىء باستخدام ت ن س:

لقد أعطي التقييم التالي (٩) لتصور استخدام ت ن س في انشاء الموانىء:

أ ـ الشكوك التقنية:

ان هذا التطبيق غير مثبت تقنياً. والشكوك التقنية الرئيسية المتصلة بهذا التطبيق ترتبط بسلوك الفوهة عند الحصائل المرتفعة وفي أوساط مشبعة وتعلوها المياه؛ والاستقرار الهندسي طويل المدى للفوهة والشفاه تحت فعل الموج والريح؛ وأقسام التسرب الراديولوجي وتوزيعات أحجام الجسيمات للتفجيرات الكبيرة وخاصة تحت الماء وفي أوساط جيولوجية ليست الخبرة الحالية وثيقة الصلة بها. والنتيجة الراديولوجية تتوقف على ظروف الطقس والمحيط وهذه كثيراً ما تكون مشكوكاً فيها.

ب ـ عوامل الموقع الخاصة:

١ ـ البيانات عن الجيولوجيا ينتظر أن تكون ضرورية مع ملاحظة الشكوك السابق الاشارة اليها، لتقدير صلاحية الموقع والتنبؤ بشكل الفوهة وأبعادها واستقرارها وللتصميم العام للمشروع.

٢ ـ البيانات عن التيارات والامواج، العادية والشاذة، مطلوبة لتقدير الموقع وتصميم المشروع. والبيانات عن نقل الرواسب على طول الشاطىء وعن نقل الرواسب بواسطة أي أنهار في المنطقة ضرورية لتقدير تأثير أي ترسيب على مشروع ما. والبيانات عن أحوال البحر، وخاصة التيارات، مطلوبة للتنبؤ بنقل ماء البحر الملوث بالمواد المشعة وأثر ذلك.

٣ ـ البيانات الواسعة المتصلة بالطقس في الماضي مطلوبة للتنبؤ بالنقل والترسب للاشعاعية المحمولة جواً ولتوقع شذوذات محلية ممكنة في الترسيب وللتنبؤ بحدوث واستقرار ظروف جوية مناسبة للتفجيرات النووية.

٤ ـ البيانات عن السكان والانشطة والانشاءات والمباني المتصلة بها في

المنطقة ضرورية لتقدير الأثر الراديولوجي والزلزالي، ولتخطيط أي اخلاء واعادة تسكين للسكان، وللتخطيط العام للوقاية والأمان الراديولوجيين.

جـ - معطيات الأمان:

١ - يجب أن تختار ظروف الطقس عند وقت الاطلاق لتفادي تأثيرات الانكسار الجوي التي تنتج فوق ضغوط للفرقعة الهوائية ضارة للشبابيك على مسافات كبيرة من موقع التفجير. والفرقعة الهوائية المباشرة القريبة أقل تقييداً من حركة الأرض.

٢ - المخاطر للأفراد بسبب التأثيرات الزلزالية منخفضة ويخضع ذلك لتعيين مناطق للاخلاء المؤقت من حجم ملائم لحصيلة التفجير والانذار المناسب بوقت الاطلاق والتعليمات الملائمة للسكان المتأثرين. ويمكن التنبؤ بالضرر للمتلكات ويخضع ذلك للمعرفة بالجيولوجيا وبالمراجعة الملائمة للانشاءات.

٣ - يوجد خطر راديولوجي مباشر من التساقط الخارجي القريب والمتوسط والبعيد ويجوز أن يؤدي الى «بقع حارة» خاصة اذا حدث ترسيب بالاكتساح. وهذا سيتقضي ضرورة الاخلاء المخطط للمنطقة القريبة. وينصح بالنسبة للمسافات الأكبر أن تكون هناك ترتيبات لاحتياطيات طوارىء للاخلاء إذا بدا أن مستويات الاشعاع قد تصل الى قيم غير مقبولة بسبب أحداث غير متوقعة كتغير الجو بشكل ذي دلالة عن ذلك المتنبأ به. وهذا يتطلب توفير تسهيلات رقابة اشعاعية.

٤ - نظرا لأنه سيحدث تلوث للبحر بالمواد المشعة فيجب أن تأخذ خطط الاطلاق في الاعتبار ظروف البحر وكذلك ظروف الجو.

د - المعطيات الصحية:

تتوقف المعطيات الصحية كلية تقريباً على كمية الاشعاعية المتسربة الى

المحيط الحيوي ومصيرها النهائي. وتتوقف الكميات المتسربة على حصيلة التفجير، والخصائص المميزة للمتفجر، وجيولوجيا الموقع. وانه لمن الممكن والمرغوب فيه على وجه العموم، ولكن ربما بتكلفة اضافية، أن تستخدم متفجرات تنتج حداً أدنى من نواتج الانشطار والمادة الانشطارية المتخلفة والتريتيوم، وحداً أدنى من نواتج التنشيط داخل علبة المتفجر والتربة المحيطة. ويمكن انقاص القسم من المادة المشعة المتسرب الى الجو «بالدفن الزائد» للمتفجرات (وبالتالي اقلال فاعلية التفجير في التفويه). وكل هذه الحقائق وظروف الطقس تحدد كمية الاشعاعية المتسربة الى الجو ومصيرها النهائي. وعلى أساس طلقات التفويه التجريبية يمكن تقدير القسم المتسرب وربطه بحسابات النقل وظروف الطقس المفترضة لتقدير التلوث الاشعاعي المتوقع في النطاقات القريبة والمتوسطة والبعيدة.

وان تلوث ماء البحر سوف يدوم لفترة طويلة تماماً بعد الاطلاق بسبب ذوبان المواد المترسبة في قاع البحر. وتلوث البر وماء البحر وقاع البحر يجب أخذه في الاعتبار مع تأثيراته على سلسلات الغذاء البحرية. وستكون الرقابة البيئية الملائمة ضرورية.

هـ - المعطيات البيئية:

قد تحدث تغييرات في الاوضاع الايكولوجية والطبوغرافية والهيدروجرافية في المنطقة القريبة من الميناء. ولكن هذه التغييرات ليست مرتبطة باستخدام التفجيرات النووية السلمية للمشروع.

و - عناصر التكلفة الرئيسية:

هذه هي: الخدمات المتصلة بالمتفجر النووي؛ الحفر (وكثيراً ما يكون بعيداً عن الشاطىء)؛ الأعمال التقليدية المرتبطة بالمشروع؛ برامج الأمان والبيئة؛ التعويض عن الضرر الزلزالي؛ وتأخيرات الجو.

ز ـ بعض البدائل الاقتصادية والتقنية:

يمكن انشاء الموانى بالأساليب التقليدية لتكسير الصخر ورفع القطع المحطمة من القاع وطرق الحفر.

وكبديل يمكن أن يتم الشحن والتفريغ بعيداً عن الشاطىء باستخدام أبراج النقل أو أجهزة النقل الميكانيكي أو الانابيب للنقل بين التسهيلات البعيدة عن الشاطىء وتلك الموجودة فوق الشاطىء.

ح ـ مقارنة التكلفة مع البدائل:

انه ما لم يدخل في المشروع تكسير وازاحة كميات ضخمة من الصخر الصلب فان تقنيات الحفر والرفع الميكانيكي التقليدية ستكون بالتأكيد أفضل تكلفة وفاعلية لدرجة كبرى. وفي حالات الصخر الصلب، وخاصة بعيداً عن الشاطىء، فان تقنيات تكسير الصخر التقليدية سوف لا تشكل عادة بديلا اقتصادياً قابلا للتطبيق.

ط ـ عوامل خاصة:

ان تطبيق ت ن س من المرجح أن ينظر فيه فقط في ارتباط بمشروعات جديدة حيث يدخل في الحفر صخر صلب في مناطق منعزلة وبعيدة عن المناطق الآهلة بالسكان.

وفي حالات الجو السيء فان وقت الانشاء الأقصر للبديل النووي يمكن أن يمثل ميزة اقتصادية محتملة للحفر النووي بالنسبة للحفر الميكانيكي.

ي ـ الاستنتاجات:

على الرغم من انشاء موانىء باستخدام المتفجرات التقليدية الا ان تطبيق ت ن س غير مثبت تقنياً واقتصادياً.

وتتوقف التكلفة والفاعلية للتطبيق بدرجة كبيرة جداً على الموقع المحدد.

ويلزم أن تربط مخاطرة اخفاق ذات دلالة بالتطبيق الى أن تستعرض تقنياً قابليته للتطبيق بالمراقبة طويلة المدى لاستقرار الانشاءات التي تخلقها التفجيرات النووية تحت فعل الموج والريح.

رابعاً - تطبيقات أخرى للحفر

ستلخص تطبيقات الحفر الأخرى في نبذات مختصرة. فالبيانات والمعلومات الحديثة عن هذه التطبيقات محدودة للغاية. وينتظر أن يتبع تحليلها خطوطاً مثل تلك التي سبق وصفها لانشاء القنوات والموانىء وخزانات المياه. وهذه التطبيقات هي: الاطلاق الموجه لبناء السدود، وانشاء قطوع الطا ق والسكك الحديدية، وانتاج الركام، وازالة الحمل العلوي، وازالة العوائق الملاحية الخطرة.

١ - التفجير الموجه لبناء السدود:

يقصد بالتفجير الموجه استخدام شغل التفجير لتفويه أو صب مادة وسط التفجير في شكل مرغوب فيه (٩). وان استخدام المتفجرات لتحريك كتل كبيرة من المادة او لنسف انحدارات صخرية لانتاج سدود أمر قد جرت ممارسته لعدة سنوات على مستوى متواضع (١٠). ولعل أجرأ مشروع من هذا القبيل كان انشاء سد تحويل بالملء بالصخر على نهر فاخش في تادزيك السوفييتية في مارس ١٩٦٨ ذي حجم قدره ١ر٥ × ١٠^{٦} م^{٣} باستخدام مجموعة شحنات اجمالها ١٨٦ر١ ك ط. وقد لحم السد، وهو أكثر من ٥٠ م ارتفاعاً، لمنع التسرب بالقاء ٣٠٠٠٠ م^{٣} من المواد الناعمة الى النهر بعد انشاء السد مباشرة.

وان أهم ميزة لطريقة انشاء سدود ضغط مائي في وديان الأنهار بالنسف المباشر لكتل ضخمة من المادة هي امكانية بناء مجمعات هندسية مائية بدون

الاضطرار لأن يبدأ بتحويل الانهار الى مجار جديدة ، وبالتالي تخفيض تكاليف الانشاء والاستخدام بقدر كبير (٩). وتوجد بالفعل مواقع يمكن فيها أن ترفع السدود بضع مئات الأمتار بمساعدة المتفجرات. وينتظر أن يتطلب هذا أوزان شحنات من ١٠٠ ـ ٢٠٠ ك ط. وبهذا المستوى يصبح استخدام المتفجرات الكيميائية صعباً ، فمثلا من المنتظر أن يحتاج الى فجوة ذات ١٥٠٠٠٠ م٣ لموضع شحنة كيميائية ذات ١٠٠ ك ط. وهذا يوحي بأن الطاقة الناتجة من التفجيرات النووية يمكن أن تستخدم لهذا الغرض.

ولم ينشر حتى الآن عن أي استخدام للتفجيرات النووية لهذا الغرض. ولكن الخبرة المتوفرة حالياً تشير الى أنه في انشاء السدود ذات المستوى الكبير قد يمكن استبدال التفجيرات الكيميائية في بعض الحالات بالتفجيرات النووية.

٢ ـ انشاء قطوع الطرق والسكك الحديدية:

في محاولة للتمشي مع النمو السريع لكل من السكان والصناعة تنشأ ولا بد أن تنشأ طرق عامة جديدة. وقد اقترح استخدام التفجيرات النووية في انشاء قطوع الطرق العامة والسكك الحديدية (٩). والصرف ، وهو أحد الاهتمامات الرئيسية لمهندسي الطرق العامة ، أحد المشاكل التي يمكن أن توفر التفجيرات النووية حلولاً لها.

وقد استعرض استخدام المتفجرات الكيميائية العالية في انشاء مثل هذه القطوع في الولايات المتحدة (٩٢) في ثلاثة قطوع لسكك حديدية في وسط من الحجر الرملي والطفل وفي اختراق عائق رملي وفي حفر قطع لطريق على جانب هضبة. وكانت قطوع السكك الحديدية أول مشروعات تظهر فاعلية التكلفة عندما حسبت بالكمبيوتر تكاليف الحفر التقليدية الأخرى لعمل مكافىء.

وفي عام ١٩٦٤ أجريت في الولايات المتحدة دراسة ، مشروع كاريال ،

لاستخدام التفجيرات النووية لحفر قطع كبير لطريق عام وسكة حديدية (٩). وكان ينتظر أن يدخل في هذا القطع ازالة ٥٢ مليون م^{٣} من الصخر لانتاج مجرى طوله ٣ر٣ كيلومتر بأقصى عمق عند الخط المركزي من حوالي ١٠٧ متراً حتى قاع الطريق. وكان من المنتظر استخدام ٢٢ تفجيراً نووياً تتراوح من ٢٠ الى ٢٠٠ ك ط في حصيلتها وبحصيلة اجمالية قدرها ١٧٣٠ ك ط. وقد يتراوح عمق الموضع بين ١٠٥ متر و ٢٣٩ متراً. وبالاضافة كان ينتظر استخدام تفجير نووي وحيد من ١٠٠ ك ط لفتح فوهة لتعترض الماء وتخزنه من مستجمع أمطار كبير، متفادين بذلك انشاءات الجسور العالية التكلفة نوعاً ما تحت الطريق العام والسكة الحديدية. وان انشاء الطرق بالتفجيرات النووية يجب ان يحقق متطلبات لها أبعاد أكثر دقة من انشاء القنوات أو المجاري المائية. وبالاضافة يلزم أن يكون قاع القطع أملساً الى أقصى حد ممكن.

وقد جذب الحفر النووي لقطوع الطرق والسكك الحديدية قليلاً من الاهتمام منذ انتهاء دراسة جدوى مشروع كاريال في الولايات المتحدة في عام ١٩٦٤. وان الحاجة الى قاع مستقر وأملس يجعل الحفر النووي أقل جاذبية للقطوع منه للقنوات (٨).

ولم يجر أي تفجير نووي لدراسة هذا التطبيق.

٣ ـ انتاج الركام:

لقد لخص هذا التطبيق في بعض المراجع (٨، ٩، ١٠) وهي مقدمة مع بعضها هنا. ان تكتلات الدبش المكونة بتفجيرات التفويه التي تطلق عند أعماق بحيث تكسر التربة ولكنها لا يقذف بها بوضوح خارج منطقة الفوهة تسمى بالركامات. ولأعماق دفن مقاسة في مدى $ع_{م}$ = (٦٠ الى ٨٠) $ح^{١/٣٫٤}$ يكسر أقصى حجم من الصخر لكل وحدة طاقة انفجارية. ويمكن أن يتحقق الوصول المباشر الى كل الصخر المكسر بمعدات سطحية. ووجود موقع الركام

في جانب صخر يسمح بالازالة البسيطة بتقنيات استخدام المنضدة.

والركامات ذات أهمية لانتاج مجموعات كتل مثل أعمدة الدبش لاعادة الملء السطحي أو الربط بين الطبقات الصخرية المائية، ومثل المرشحات البكتريولوجية لمياه المخلفات كما أنها مهمة في التكسير أو التجميع في دفعات داخل الموقع لأجسام الخامات. وهي هامة جداً للأعمال الهندسية الكبرى مثل السدود والطرق العامة والتي كثيراً ما تقع في مناطق معزولة عن مصادر الركام. ويمكن للتفجيرات النووية أن تنتج بسرعة ملايين الأطنان من الصخر المكسر وقد يمكن استخدامها لانتاج ركام بالقرب من مناطق الانشاء اذا وجدت مواقع ملائمة. وقد أوضحت الخبرة أن حجم التقطيع سيتوقف على طبيعة الصخر ولكنه يتحدد عامة بنمط الشروخ ومستويات الضعف السابقة للاطلاق. وانه لمهم بشكل حرج أن خصائص التكسير المميزة للوسط الموضعي يجب أن تنتج توزيعاً مقبولا لاحجام الصخر المكسر.

ومن المتوقع أن تفجيراً نووياً من ١٠ ك ط موضوع عند حوالي ١٢٠ م من سطح حر مائل قد ينتج ٤ ـ ٦ مليون طن من الركام بسعر أقل بشكل ذي دلالة عن الانتاج التقليدي للركام (٩٣). وينتظر أن تنتج الحصائل الأكبر (١٠٠ ك ط) كميات من الركام أكبر تناسبياً بل وبتكلفة أدنى للوحدات.

ووفقاً للبيانات من التجارب يبدو أنه يمكن تدبير أمر مشاكل الاشعاعية. وتكاليف التكسير جذابة. وعلى أية حال فان الحجم الضخم جداً لعملية استخراج الأحجار من الركام يقتصر تطبيقها على الأعمال الهندسية الكبرى. ويحتمل أن يكون هذا هو السبب في أن دراسات التطبيقات الأخرى تحظى بالأسبقية.

٤ ـ ازالة الحمل العلوي:

تستخدم طريقة التعدين بالانتزاع عامة للطبقات المستوية القريبة من

السطح مثل الطمى والفوسفات والبواكسايت والرواسب الرسوبية الأخرى ورواسب المعادن المتناثرة المنخفضة المرتبة (٩). وان كمية حمل المخلفات العلوي المزالة في مثل هذا الاستخراج للأحجار هائلة. وقد أدت هذه الحقائق الى الايحاء بأن تستخدم التفجيرات النووية للازالة السريعة للحمل العلوي.

وقد وصف اقتراح في ١٩٧٠ لمشروع كبير جداً لحمل علوي يدخل فيه استخدام المتفجرات النووية لتعدين راسب فلز غير حديدي ضخم في الاتحاد السوفييتي. والصخر المضيف في الموقع المعني حجر غريني وصخر رسوبي صلصالي ومادة جيرية. ويلزم ازاحة اجمالي قدره ٣ر٢ × ١٠^٩ م^٣ من الحمل العلوي لنزع غطاء المنطقة وقد قدر أن حوالي ٤٠٪ من هذا الحمل العلوي يمكن ازالتها باستخدام التفجيرات النووية. وينتظر أن يحتاج الى صفوف من التفجيرات النووية من حجم الميجاطن بسبب العمق الداخل في العملية.

٥ ـ ازالة العوائق الملاحية الخطرة:

لقد كانت هنالك حالات استخدمت فيها كميات كبيرة من المتفجرات التقليدية لازالة العوائق الملاحية الخطرة (٩). واحدى هذه الحالات هي نسف صخر متموج حوالي ١٥٠ كم شمالي فانكوفر. وقد توجد حالات قد يمكن فيها ازالة مثل هذه العوائق الخطرة بالمتفجرات النووية. ومن المنتظر أن تكون القيود مماثلة لتلك الملائمة لانشاء الموانىء السابق مناقشتها.

الفصل الثامن

التطبيقات العلمية

ان كون التفجيرات النووية السلمية تستطيع أن توفر مصدراً كثيفاً وفريداً للبلازمات والجسيمات الأولية وكذلك للطاقة قد أدت الى أنشطة بحوث علمية مكثفة في مجموعة متنوعة من المجالات. وكقاعدة عامة فان مثل هذه التجارب العلمية لا تتطلب حصائل أكبر من عشرات قليلة من الكيلوطن ولا تتوقف على موقع معين (٩). وبأخذ هذه الحقائق في الاعتبار وكذلك ندرة التفجيرات النووية وتكلفتها فان التجارب العلمية يمكن أن تجري في ارتباط بالتفجيرات النووية المستخدمة لأغراض أخرى. ونقطة ضعف ضخمة في هذا التطبيق هي أنه توجد فرصة واحدة للحظة سريعة الزوال لاجراء التجارب والحصول على البيانات المرغوبة؛ ولكن توفر مصدر هائل أكبر اضعافاً مضاعفة في مقداره من أكبر منافسيه يجعل مثل هذه التجارب فريدة في نوعها (١٠).

وتتضمن تطبيقات ت ن س العلمية تطبيقات الفضاء، وتجارب النيوترونات، وانتاج العناصر الثقيلة، والتجارب الزلزالية.

أولاً - تطبيقات الفضاء:

قبل معاهدة حظر اختبارات الأسلحة النووية في الجو وفي الفضاء الخارجي وتحت الماء لعام ١٩٦٣ (م ح ج أ)، اتجهت اهتمامات بحثية نحو امكان استخدام ت ن س في تطبيقات فضائية مختلفة. وأنه ولو أن م ح ج أ تفرض حظراً على كل اختبارات التفجيرات النووية في الفضاء الخارجي، سواء

للأغراض العسكرية أو السلمية ، وبالتالي قد توقف كلية تقريباً النشاط في هذا الاتجاه ، غير أنه في سبيل اكتمال المعلومات يرى كاتب هذا التقرير ضرورياً أن يلقي الضوء على الأنشطة التي سبق أن أجريت في حقل تطبيقات ت ن س الفضائية .

وتتضمن هذه الانشطة الخطوط الرئيسية التالية :

١ ـ الدفع الفضائي النووي :

في احدى الدراسات (٩٤) وصف صاروخ نووي بسيط يمكن أن يستخدم سلسلة من القنابل الذرية في الدفع . ويحوي الصاروخ جمعاً من القنابل الذرية وبه وسائل لقذف القنابل بالتوالي واطلاقها عند مسافات مختارة من الصاروخ . وقاعدة الصاروخ مغطاة بألواح بلاستيك تسخن بواسطة التفجيرات منتجة تمدداً تفجيرياً وما يترتب عليه من دفع اضافي .

وقد درس كول (٩٥) جدوى الدفع بالتفجيرات النووية المحتواة مع التأكيد على الجوانب الاقتصادية . وتكلفة الدافعات لكل رطل من الشحنة المتفجرة قد استخدمت كرقم للجدارة في مقارنة التصميمات البرامترية لصواريخ النبضات النووية والصواريخ الكيميائية للرحلات الفضائية . وتشير هذه الدراسات الى أن صاروخ النبضات النووية يجب أن يكون ذا حجم ضخم جداً ـ عدة ملايين من الأرطال ـ كي يكون جذاباً اقتصادياً . وينتظر أن يكون هذا قابلا للمقارنة مع نظام انشطار القلب الغازي وكذلك مع نظم الدفع النووي المتقدمة المقترحة الأخرى . ولصاروخ النبضات المميزة فوق نظم الدفع النووي التقليدية في أن متوسط حرارات غرفة الدفع يمكن أن يكون أعلى منه لنظم المفاعلات الصلبة بل والسائلة . وله الميزة فوق النظم المتقدمة في أن الاحتواء المغناطيسي غير مطلوب . وقد قدم ديون (٩٦) تقريراً عن احتواء تفجيرات القنابل الى مؤتمر عن التطبيقات العلمية للتفجيرات النووية .

وفوق ذلك ناقش ديون (٩٧) النقل بين النجوم. كما نوقشت جدوى مشروعي أبوللو وأوريون من حيث العلاقة بالسفر الى الفضاء الخارجي. وقد فحصت تصميات سفينتي فضاء تستخدم انفجارات قنابل حرارية نووية كمصدر للطاقة للسفر الفضائي طويل المدى. وقد نوقش استخدام مادة استئصالية حيث تتبخر كتلة جديرة بالاهمال من المادة بانفجار كل قنبلة. وقدمت الخصائص المميزة لحجم وأداء سفن الفضاء من نوع الاستئصال ذات الحوض الحراري.

٢ ـ استخلاص المياه من صخور القمر:

قد فحص هيكمان (٩٨) هذه الامكانية. فبحثت جدوى اقتراح باستخدام التفجيرات النووية للازالة الموضعية لماء الرواسب القمرية الحاملة للمياه. وتعتبر المتفجرات النووية اختياراً واضحاً فوق المتفجرات التقليدية نظراً للارتفاع الأكبر جداً لنسبة الحصيلة الى الوزن في حالتها. ومن المنتظر أن تستخدم التفجيرات المحتواة للرواسب العميقة للمياه. ويجري عمل علاقة تعطي أدنى أعماق لاحتواء التفجير في البيئة القمرية. وتتراوح هذه الاعماق بين ٢٠٠٠ الى ١٠٠٠٠ قدم لحصائل التفجير من ١ الى ١٠٠ ك ط المفتكر فيها. ويبدو أن وضع واطلاق المتفجرات النووية عند هذه الاعماق الكبيرة على القمر أمر ذو جدوى، ولكن التقييم الشامل للتقنية يجب أن ينتظر معرفة الطبيعة الجيولوجية للرواسب الحاملة للمياه عند هذه الأعماق. وبالنسبة للرواسب القمرية الضحلة الحاملة للمياه يبدو استخدام التفجيرات النووية «المحركة للتربة» في ارتباط مع تقنيات التعدين أمراً جذاباً.

٣ ـ اداة عامة في بحوث الفضاء:

قد تستخدم ت ن س كأداة عامة في مجموعة مختلفة من خطوط بحوث الفضاء. وعلى ذلك لخص كوك (٩٩) الدراسات الممكنة التي تستخدم فيها

التفجيرات النووية كمصادر استثارة للجو الأعلى. وقد لخصت البيانات المتوفرة من اختيارات الولايات المتحدة عند ارتفاعات عالية.

ومن ناحية أخرى وصف كوفسكي (١٠٠) استخدامات الفيض الحراري من التفجيرات النووية في دراسات التوهج الجوي. ونوقشت دراسة العمليات الكيميائية للجو الأعلى بالاستفادة من النبضة الكثيفة للضوء المرئي وفوق البنفسجي المنبعثة من التفجير النووي. وأوضح أن تأثيرات التفكيك الضوئي الكبيرة النطاق يمكن أن تساعد في تفسير ميكانيكية الاستثارة لأغلب توهجات الهواء الطبيعية الرئيسية. وبالاضافة فان هذا المصباح الاصطناعي القوي يمكن أن يستخدم كمصدر لتحفيز ودراسة وميض الشفق وملاحظة عمليات الاتحاد ثانية بل وأيضاً لقياس امتصاص الاصناف الجوية للأشعة فوق البنفسجية.

وفوق ذلك راجع أرجو وزملاؤه (١٠٠) امكانيات استخدام التفجيرات النووية كمصادر لفيوض عالية الطاقة بخصائص فيزيائية مميزة معروفة كوسائل في استكشاف الفضاء. واحدى هذه هي تعجيل كمية صغيرة من الكتلة الخارجية للأداة الى سرعات عالية بالضغط الهيدروديناميكي والاشعاعي والفعل المتبادل لمثل هذه الجسيمات عالية الطاقة مع الحقل الجيومغناطيسي والجو الأعلى. ويمكن كذلك دراسة ميكانيكية سيل الطاقة الشمسية والفعل المتبادل للبلازما من احدى الأدوات في تصادمها ببلازما من أداة أخرى. وهناك اقتراحات أخرى بدراسات لظواهر جيوفيزيقية.

وبالاضافة وصف بيم (١٠١) قياسات وقت الطيران التي أجريت بالنيوترونات من التفجيرات النووية في الفضاء. وأعطيت نتائج قياسات أطياف طاقة النيوترونات من سلسلة اختبارات ١٩٦٢ على ارتفاعات عالية ونوقشت النتائج الثانوية في التركيب الرنيني لنويدات مختلفة. وبالاضافة عمل ديون (١٠٢) اقتراحاً بتجربة لقياس وقت حياة النيوترون.

ومن ناحية أخرى اقترح سوفتكي وسكواير (١٠٣) وحللا تجربة يمكن أن توفر مقارنة دقيقة للسرعات في الفراغ للفوتونات ذات الطاقات الواسعة الاختلاف في الفضاء. وعمل الاقتراح بأنه يمكن أن يكون هناك تشتت لم يكتشف بعد. وتستخدم التقنية تفجيراً نووياً لتوليد نبضة طلقة لاشعاع الكترومغناطيسي ذو حزام عريض وتتطلب قياس فروقات أوقات طيران الفوتونات ذات الترددات المختلفة على طول خط قاعدي طويل بين الكواكب في الفضاء. والتفاصيل التجريبية المغطاة هي الموضع وقوات الاشارات ومصادر الخلفيات والاتصالات والتجهيزات. ويمكن استخدام الطريقة بيسر لعمل مقارنات للسرعة الى درجة دقة ٣٠ م/ثانية ويمكن الوصول الى دقة نهائية من ± ١٠ سم/ثانية بتعقيد وصقل أكبر وبتكلفة أعلى.

وأخيراً عالج وولشيك (١٠٤) مسألة استغلال الطاقة النووية لأغراض تجريبية في الفضاء الكوني. ويمكن أن تخدم مصادر اصطناعية لهذه الطاقة، تفجيرية وغير تفجيرية، دراسات تخص الفضاء الكوني ذاته بتعيين المادة الموجودة فيه وبالسماح باستكشاف خصائص هذه المادة. وينتظر أن تسمح المصادر المذكورة فوق ذلك باستكشاف أكثر تفصيلا لتركيبات مثل حشود الشهب. ومن المقترح أن تنشأ معامل كونية خاصة يمكن أن تجري فيها الأبحاث في مجال الطبيعة الفلكية عن نماذج النجوم بالنسبة للمصادر الاصطناعية للطاقة النووية. ومثل هذا النوع من العمل ينتظر أن يتفرغ لدراسة مسائل مختلفة تمتد الى وجود ما يسمى بنقيض المادة وخصائصه.

ثانياً ـ تجارب النيوترونات:

تنتج تفجيرات الانشطار حوالي ٢ × ١٠^٢٣ نيوترون لكل كيلوطن من الطاقة الانشطارية. وتنتج الأدوات الحرارية النووية حوالي ٢ × ١٠^٢٤ نيوترون لكل كيلوطن من الطاقة في وقت قصير للغاية. ويمكن اعتبار اطلاق

متفجر نووي من هذه الناحية كمفاعل وحيد النبضة بفيض نيوترونات بالغ الارتفاع. فالفيض من قنبلة نموذجية منخفضة الحصيلة من مقدار ذلك الذي ينتج من ٢٥٠٠٠ سنة تشغيل للمعجلات (١٠٥).

وان فيض النيوترونات الضخم الذي ينتج في أقل من ميكروثانية بالتفجير النووي يجعل من الممكن اجراء مجموعة مختلفة من تجارب الفعل المتبادل للنيوترونات غير ممكنة بمصادر النيوترونات الاخرى (١٠). والميزات الرئيسية لمثل هذه المصادر هي: (١) يمكن استخدام عينات صغيرة جداً من الاهداف (ميللي جرام)؛ (٢) يمكن استخدام عينات ذات أعمار قصيرة جداً أو فعل متبادل تدخل فيه نويدات ذات أعمار قصيرة جداً؛ و (٣) تكون معدلات التنشيط من الارتفاع بحيث تكون معدلات العد من عينات مشعة جداً أو من الاشعاعية المستحثة في الكشافات تافهة.

وباستخدام مبعثرات ملائمة يمكن أن تنتج أطياف نيوترونات مختلفة حتى عدة م ف أ. وحيث أن جميع النيوترونات تنبعث في خلال ميكرو ثوان قليلة، فهي عندما ترسل الى أسفل أنبوبة طولها عدة مئات الامتار أو أكثر فان وقت وصولها يكون دالة لطاقتها. وباستخدام هدف دوار أو تقنية مماثلة يمكن تعريض أهداف مختلفة لنيوترونات ذات طاقة مختلفة بتحليل للطاقة لا تدانيه أي تقنية اخرى.

ومنذ ١٩٥٨ أجري عدد من تجارب النيوترونات كأنشطة اضافية للتفجيرات النووية الموجهة أساساً لأغراض أخرى. فبالاضافة الى دراسات دالات الاستثارة للأسر النيوتروني فقد بحثت المجالات التالية:

١ ـ المقاطع الفعالة للانشطار:

لقد قيست مقاطع الانشطار الفعالة لثمانية وعشرين نويدة باستخدام فيض نيوتروني من تفجير نووي. وسنذكر هنا بعض الأمثلة. فقد قدمت بيانات

مقاطع الانشطار الفعالة في حدث بترل الأمريكي في ١١ يونيو ١٩٦٥ بيانياً وفي جداول متضمنة الانحرافات القياسية المحسوبة (١٠٦). وكانت النظائر التي درست هي: يورانيوم - ٢٣٣، ويورانيوم - ٢٣٥، وبلوتونيوم - ٢٣٩، وبلوتونيوم - ٢٤٠، وبلوتونيوم - ٢٤١، وأميريسيوم - ٢٤١، وأميريسيوم - ٢٤٢. وكان مدى طاقة النيوترونات المغطى لأغلب النظائر من ٢٠ف أ الى ١ م ف أ. وبالاضافة قدم سيجر وزملاؤه (١٠٧) النتائج من هذه التجربة للاميريسيوم - ٢٤٢ وللاميريسيوم - ٢٤٢ م في نفس مدى الطاقة، مقاسة في آن واحد ومغطية مدى الطاقة كله وبخلفية منخفضة جداً. وقد لوحظ انشطار تحت مشرفي كبيرللاميريسيوم - ٢٤١. والمقطع الفعال لانشطار النويدة الفردية في مكونيها، الاميريسيوم - ٢٤١ م، حوالي ضعف ذلك الخاص بالبلوتونيوم - ٢٣٩ على غالبية مدى الطاقات النيوترونية ولكنه يزيد بحوالي ٢٠٪ فقط عند ١ م ف أ.

٢ - تماثل الانشطار في رنين اليورانيوم والبلوتونيوم:

ان النيوترونات المحللة في الطاقة بوقت الطيران من حدث بترل قد استخدمت لانتاج انشطارات رنينية في البلوتونيوم - ٢٣٩ بأعداد كافية لتسمح بالقياسات الكيميائية الاشعاعية لتماثل الانشطار عند مستويات فردية على مدى الطاقة من ١٥ الى ٨٢ ف أ. وتتميز حوالي ٣/٢ المستويات المدروسة بتماثل أقل منه في الانشطار الحراري. وعند هذه الرنائن فان الحصيلة النموذجية لناتج الانشطار المتماثل تقريباً، الكدميوم - ١١٨، حوالي ٣/١ الحصيلة الحرارية. وبالنسبة لباقي المستويات فان الانشطار أكثر تماثلاً؛ والحصيلة النموذجية للكدميوم - ١١٥ حوالي ٢/٣ من الحصيلة الحرارية. وهناك تناظر بين التجمعات بالتماثل الانشطاري المعزز أو المنقوص، وعروض المستويات (عريضة أو ضيقة)، وبعض قيم J المقاسة حديثاً. وعلى أساس التماثل الانشطاري النسبي اقترحت تعيينات للدوران المغزلي لاثنين وعشرين مستوى.

وقد اقترح أن تلك المستويات التي عندها يكون الكدميوم ـ ١١٥ منخفضاً تمثل حالات ١ + ، بينما حصائل الكدميوم ـ ١١٥الأعلى يحتمل أن تحدث عند مستويات تمثل حالات صفر + . وأعطيت تعيينات مقترحة للمستويات بالتماثل لمجموعتي J = ١ و J = صفر.

وقد لوحظت الزيادات والنقصان في تماثل الانشطار بالمقارنة بانشطار البلوتونيوم ـ ٢٣٩ بالنيوترونات الحرارية من البيانات التي حصل عليها في منطقة الرنين من ٢٠٠ ف أ الى ٦٠٠ ف أ في فواصل طاقة من ١٠ ف أ الى ٢٥ ف أ في العرض حاوية من ٣ الى ١٢ رنيناً في العينة الواحدة، وقد وصفها كووان وزملاؤه (١٠٧). فالحصيلة المتماثلة نقصت بمدار ١٨٪ عند ٢٥٠ ف أ، و٢٩٪ عند ٣٠٧ ف أ، و٣٣٪ عند ٣٩٥ ف أ. وقد ازدادت الحصيلة المتماثلة بمقدار ١٦٪ عند ٢٠٦ ف أ. وقد بين متوسط تماثل الانشطار فوق منطقة الطاقة من ١٩٦ ف أ الى ٥٨٣ ف أ نقصاً قدره ٨٪ عن القيمة الحرارية.

ومن ناحية أخرى فقد بحث كووان وزملاؤه (١٠٨) تماثل الانشطار في رنين اليورانيوم ـ ٢٣٥. وقد حللت النيوترونات في منطقة الطاقة الرنينية من تفجير نووي بوقت الطيران واستخدمت لتستحث انشطاراً في يورانيوم ـ ٢٣٥ معلق في عجلة دوارة. وقد درس تماثل الانشطار عند رنائن فردية من حوالي ١٠ الى ٦٠ ف أ بوسائل كيميائية اشعاعية. وعلى أساس القياس بنسبة الحصيلة للنظيرين فضة ـ ١١١/مولبدينوم ـ ٩٩ فان احتمال الانشطار المتماثل ينقص عند بعض الرنائن بحد أقصى ١٠٪ بالمقارنة بالانشطار الحراري لليورانيوم ـ ٢٣٥، ويزيد عند رنائن أخرى بحد أقصى ٤٠٪. وبدرجات مختلفة من التأكد عينت تسع رنائن بزيادة في التماثل، وخمس مناطق تماثل زيادة على ذلك ترتبط برنائن أو بتأثير خلفية. وعين عشرون رنيناً بنقص في التماثل. وفي عينة تحوي ٥٠٠ مستوى في منطقة الرنين لا يوجد أي مستوى بحصيلة للفضة ـ ١١١ تصل حتى الى واحد من ثلاثين من قدر حصيلة المولبدينوم ـ ٩٩.

وبالتالي فليس من المحتمل أن توجد أي رنائن نيوترونية في اليورانيوم - ٢٣٥ تؤدي الى الانشطار المتماثل بشكل سائد.

وفوق ذلك، فان كووان ومؤلفون آخرون (١٠٩) قد أجروا بحثاً مشابهاً على تماثل انشطار اليورانيوم المستحث بالنيوترونات من حدث مشروع جنوم. وقد استنبط التماثل بقياس نسبة ناتجي الانشطار الفضة - ١١١/المولبدينوم - ٩٩ عند الرنائن من ٨ر١٨ الى ٤٠ ف أ. ولقد كان أقصى انخفاض لوحظ في احتمال الانشطار المتماثل بالمقارنة بالاحتمال في الانشطار الحراري قدره ٥٠٪. وكانت أقصى زيادة لوحظت ٢٢٪. وقد أظهرت أربعة مستويات زيادة في التماثل. وأظهر ثلاث عشرة مستوى نقصاً في التماثل. وباستثناء مستوى واحد عند ٤ر١٥ ف أ فان تعيينات المستويات بالتماثل تتفق في المنطقة المغطاة مع العمل السابق.

٣ - المقاطع الفعالة للأسر والنثر والنفاذية لنويدات مختلفة:

لقد أجريت تجربة طبيعة متعددة الأغراض في ارتباط تفجير نووي في موقع اختبارات نفادا في ١٩٦٩. وكان هدفها قياس المقاطع الفعالة للأسر والنثر والنفاذية لمجموعة متنوعة من النويدات (١٠، ١١٠) وقد اشتملت تجربة النيوترونات على ٣٢ تجربة في اختبار واحد مركب في برج ذي خمسة أدوار فوق صفر الأرض. ويلخص الجدول التالي القياسات المختلفة مستعرضة تنوع أغراض مثل هذه التجارب.

وكان من الأمور ذات الأهمية الخاصة في اختبار ١٩٦٩ انتاج النيوترونات المستقطبة فاتحة بذلك مجموعة جديدة كلية من البحوث التي يمكن اجراؤها في اختبارات مقبلة.

وقد أوضح ماك ماستر (١١١) أنه يمكن الحصول على نبضة حوالي $١٠^{٢٤}$ نيوترون بعرض عند منتصف الحد الأقصى من رتبة عشرات قليلة من الميللي

الانشطار	الأسر	النثر	النفاذية
أميريسيوم - ٢٤٣	ذهب - ١٩٧	ايتريوم - ٨٩	بلوتونيوم -٢٣٩
بركليوم - ٢٤٩	ثوريوم - ٢٣٢	تانتاليوم - ١٨١	
كاليفورنيوم - ٢٤٩ ، ٢٥٢	يورانيوم - ٢٣٨	بلوتونيوم - ٢٣٩	
كوريوم-٢٤٣، ٢٤٤ ، ٢٤٥ ، ٢٤٦ ، ٢٤٧ ، ٢٤٨	كوريوم - ٢٤٤ ، ٢٤٦		
يوروبيوم - ٢٥٣	بلوتونيوم - ٢٣٩		
نبتونيوم - ٢٣٧			
بلوتونيوم - ٢٣٩ ، ٢٤٢ ، ٢٤٤			
يورانيوم - ٢٣٢ ، ٢٣٤ ، ٢٣٦ ، ٢٣٨ ،			

ميكروثواني التي تعطي شدة ذروة حوالي $١٠^{٣٢}$ نيوترون في الثانية. وقد يلزم تشغيل معجل كوكرفت - والتون ثلاثة ملايين سنة كي ينتج نفس العدد من النيوترونات. فاذا أمكن ترتيب أوضاع هندسية ملائمة فسوف يكون هناك عالم من التجارب التي تستخدم فيها أداة نووية كمصدر. وقد درست التجارب التي تدخل فيها تقنية وقت الطيران ووجد أنها مجدية في الأوضاع الهندسية المتوفرة عند موقع الاختبارات تحت الأرض في نفادا. وهذه تتضمن تطبيقات طيف نيوترونات الانشطار لدراسة المقاطع الفعالة لتفاعل (ن ، ن لا) بالسماح للنيوترونات بالتصادم مع أهداف من عناصر مختلفة والكشف عن أشعة جاما

غير المرنة المنتجة وبحث استقطاب النيوترونات بنشر مزدوج للنيوترونات.

وأخيراً فقد اقترح عدد من التجارب للكشف عن النيوترينوات أو النيوترينوات ونقائض النيوترينوات (١١٢) في التفجيرات النووية تحت الأرض ولكن لم تتوفر معلومات عما اذا كانت مثل هذه التجارب قد أجريت في وقت لاحق.

ثالثاً - انتاج العناصر الثقيلة:

لقد بحث هذا التطبيق بشكل شامل من جميع جوانبه وقد روجعت النتائج في مراجع مختلفة لخص أغلبها في خلاصات وقدم في السلسلة الببليوجرافية رقم ٣٨ (٢). وقد وصفت نورديك (١٠) هذا التطبيق باختصار كما يلي:

لقد جعل الفيض الشديد داخل المتفجرات النووية في الامكان ممارسة «خيمياء» حديثة بانتاج عناصر جديدة والاستكشاف بذلك للطبيعة النووية خارج «نهاية» الجدول الدوري. ونظراً لفيوض النيوترونات المرتفعة جداً والمتوفرة فمن الممكن الحصول على عدد كبير من أحداث الأسر النيوتروني المتعدد (٢٠٢) التي تحدث قبل أن تكون هناك فرصة لانحلال أي نويدة. وبالبدء بمواد أهداف ثقيلة مثل اليورانيوم - ٢٣٥ يمكن أن تنتج نظائر لليورانيوم تتراوح من اليورانيوم - ٢٤٥ حتى اليورانيوم - ٢٥٧؛ وهذه النظائر يحدث لها انحلال بيتا الى نويدات عناصر فوق يورانية مستقرة أو ذات أعمار طويلة تماماً. ولقد استخدم تفجير مايك في ١٩٥١ بهذه العملية لأول مرة في انتاج عنصري الاينشتاينيوم والفرميوم. ومنذ ذلك الوقت كانت هناك سبعة أحداث صممت خصيصاً لانتاج عناصر ثقيلة جديدة من خلال قذف مجموعة متنوعة من الأهداف شملت اليورانيوم - ٢٣٨، والبلوتونيوم - ٢٤٢، النبتونيوم - ٢٣٧، والأميريسيوم - ٢٤٣، والثوريوم - ٢٣٢. ويلخص الجدول

التالي هذه الاختبارات موضحاً الفيض المحسوب الذي تعرضت له مادة الهدف .

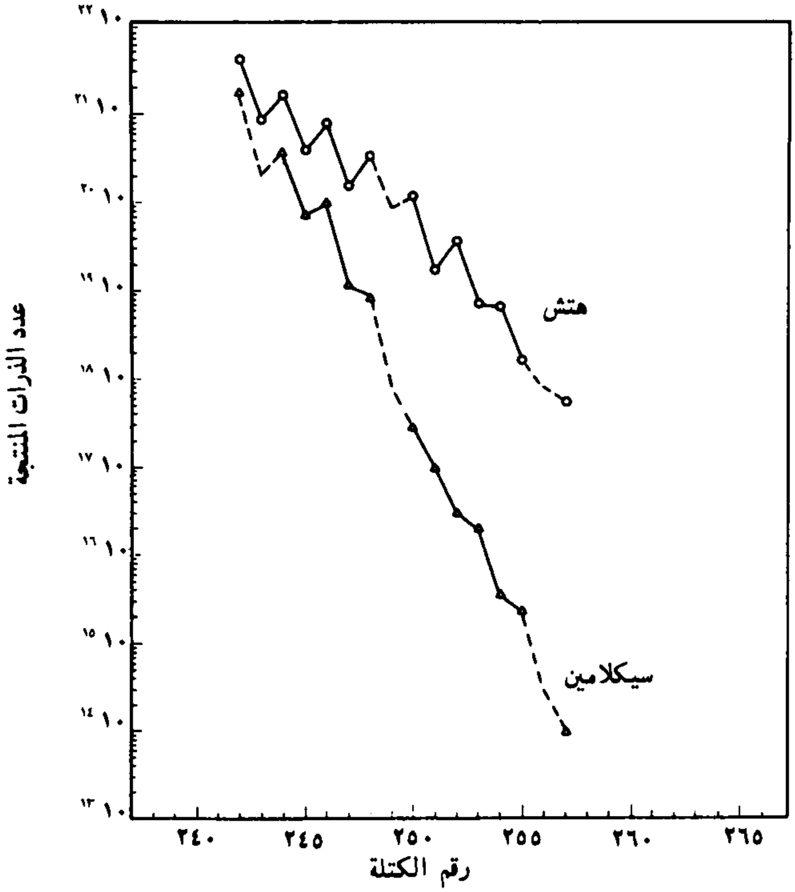
الحدث	التأريخ	فيض النيوترونات (جزيء / سم^{٢})
بار	١٠/٦٤	١١
باربل	١٠/٦٤	١١
تويد	٥ /٦٥	١٢
سيكلامين	٥ /٦٥	١٨
كانكاكي	٦ /٦٦	١٢
فلكان	٦ /٦٦	١٢
هتش	٧ /٦٩	٤٠

وقد أنتجت في هذه التجارب عناصر فوق يورانية حتى عدد ذري = ١٠٠ وعدد كتلة = ٢٥٧ .

وقد أنتج الاختبار الأخير ، هتش فيضاً أعلى ثلاثة مرات تقريباً من أي فيض سجل قبل ذلك . وأن مغزى هذا الفيض يمكن أن يظهر من المعادلة التالية التي تربط عدد الذرات المنتجة : $ع$ ، بعدد الذرات الأولية ، $ع_{صفر}$ ، والمقطع الفعال للأسر ، σ ، ومتوسط الفيض ، ϕ ، وعدد أحداث الأسر المتتالية ، د :

$$ع = \frac{ع_{صفر} \left(\sigma \phi \right)^{د} هـ^{-\sigma \phi}}{د}$$

ويوضح شكل ٢٣ نتائج تجربة هتش بالمقارنة مع حدث سيكلامين السابق



شكل (٢٣) حصائل العناصر الثقيلة من تجربتي هتش وسيكلامين (١٠)

لها . وأنه ولو أنه قد أجري بحث مكثف على هتش الا أنه لم يعثر على عناصر بعد (عدد ذري ، عدد كتلة) = (١٠٠ ، ٢٥٧) . وعلى كل حال فقد استخلص أكثر من ١٠^١٠ ذرة من الفرميوم ـ ٢٥٧ وهي أكثر مائة مرة مماكان متوفراً من أي مصدر آخر .

وان كميات العناصر الثقيلة المنتجة كافية لجعل استخلاصها جذاباً . فقد حسب ، مثلا ، أنه قد أنتج ٥ × ١٠^١٧ ذرة من الفرميوم ـ ٢٥٧ ، وهذا أكبر ١٠^١٠ مرات من الكمية المنتجة سنوياً من مفاعل النظائر ذي الفيض العالي

(م ن ف ع) في أوك ريدج. وبالاضافة أنتج اجمالي قدره $١٠^{٢٠}$ ذرة من الكوريوم - ٢٥٠، وحيث أن انتاج هذا النظير في مفاعل يعتمد على المنافسة بين انحلال بيتا ذي الـ ٦٤ دقيقة والأسر النيوتروني في نواة الكوريوم - ٢٤٩ فانه حتى مفاعل النظائر ذو الفيض العالي لا ينتج كميات قابلة للاستخلاص من الكوريوم - ٢٥٠.

وعلى نفس الخط قارن كووان (١١٢) مفاعلات الفيض العالي والتفجيرات الحرارية النووية الكبيرة لانتاج الكاليفورنيوم - ٢٥٢. ومادة الهدف هي اليورانيوم - ٢٣٨. وفي التفجير يمكن انتاج ٥ جم من الكاليفورنيوم - ٢٥٢ عند سعر ٢ مليون دولار للجرام. ومن المنتظر أن تنتج في التفجير منتجات قيمة أخرى. فعلى سبيل المثال فان الأداة موضع الاعتبار ينتظر أن تصطنع ٢٠ ميللي جرام من الفرميوم - ٢٥٧. وهي أكبر حوالي $١٠^{٧}$ مرة من الكمية التي يمكن انتاجها في مفاعل عالي الفيض. وينتظر أن ينتج التفجير كذلك ١٠ جم من الكوريوم - ٢٥٠. والاداة ذاتها قادرة على انتاج عناصر ذات كتلة ٢٧٢ وأعلى من ذلك بكميات كافية للتحقق منها ولتعيين السلوك الكيميائي لعناصر جديدة لم تكتشف بعد اذا عاش أي من هذه النظائر اكثر من ساعات قليلة.

ولانتاج العناصر الثقيلة تدمج مادة الهدف داخل الأداة. ونظراً لأن أحداث التفجير لهذا الغرض تحتوي تحت الأرض فان العناصر الثقيلة المنتجة تختلط مع الأنقاض والصخور المنصهرة بالتفجير والتي تسقط داخل الفجوة عندما تنهار. وهذا يجعل عمليات الاستخلاص الكيميائي مرهقة للغاية.

وقد راجع هوروتز وزملاؤه (١١٣) العمليات الكيميائية المستخدمة لاستخلاص العناصر فوق البلوتونيوم من عينات صخرية من تفجيرات نووية تحت الأرض. وقد قدرت فاعليات الاستخلاص باستخدام الطرق المشروحة بأنها أكثر من ٩٠٪ على مستوى الكيلوجرامات.

ونظراً لحقيقة أن الملح قابل للذوبان في الماء بيسر فقد أعطى الاهتمام للتفجيرات في بيئة الملح الصخري على أنه أفضل اتجاه لانتاج العناصر الثقيلة.

وعلى ذلك جرى تنفيذ برنامج بحث وتطوير كيميائي كبير في ارتباط بمشروع كوتش الذي اعتزم اطلاقه في الملح الصخري. وسنذكر هنا مثلين لنلقي الضوء على هذا الجهد.

فقد طورت عملية كيميائية لاستخلاص العناصر الاكتينية المنتجة بتفجير نووي في ملح غير نقي، وقد وصفها كاريكر وزملاؤه (١٤). وتتضمن الطريقة فصل الملح بالاذابة في الماء، وتحويل معادن الكبريتات الى كربونات بمحلول كربونات النشادر، واذابة المواد الصلبة المحولة في حامض النتريك ٦ ج، وترسيب السيليكا من المحلول بالجلاتين، وخطوتان متبادلتان بالاستخلاص بالمذيبات والتبخير لانتاج محلول مركز للمنتج. وقد أشارت اختبارات تطويرية للعملية بعينات أنقاض من اختبار جنوم الى أن كميات من جرامات من الأكتينيدات يمكن أن تستخلص بحصيلة أعلى من ٨٥٪ من ٣ × ١٠ ⁴ طن من الأنقاض. ودورتا الاستخلاص بالمذيبات لفصل الأكتينيدات من الشوائب الكتيونية الرئيسية، كا٢+ ، مغ٢+ ، حد٣+ بعامل يزيد على ١٠ ⁵ ، وباتحاد مع التبخير، قد أعطتنا محلولا من ١٠٠ جالون/ ١٠ ⁴ طن من أنقاض الملح الأصلية.

ومن ناحية أخرى فقد طور م أ ر ق ، معمل أوك ريدج القومي ، (١١٣) رسماً لتتابع عمليات الاستخلاص للجرامات القليلة من النظائر فوق البلوتوينوم (التي ستنتج في انفجار كوتش النووي) من ١٠٠٠٠ الى ٣٥٠٠٠ طن من الملح التي ستكون مبعثرة فيها. وفي رسم تتابع العمليات هذا فان الملح المستخرج والمحطم يذاب في ٢٫٥ رطل ماء لكل رطل ملح، والمادة الغير قابلة للذوبان والتي تحتوي ٩٩٪ من النظائر فوق البلوتوينوم ونواتج الانشطار تفصل من

السائل الملحي. والمواد غير الذائبة المفصولة تذاب في حامض النتريك أو الكلوردريك. وبعد ذلك يضاف حامض الأكزاليك الى السائل الحامضي لترسيب حوالي ١٪ من الكالسيوم الذائب. وأكزالات الكالسيوم التي تحمل فوق البلوتونيات كمياً تفصل وتجفف للشحن الى موقع للجنة الطاقة الذرية للمعالجة اللاحقة. وقد أجريت دراستان مساندتان في مؤسسة فرنكفورد لصناعة الأسلحة. وقد أوضحت الاولى جدوى نفث اهداف اليورانيوم بسرعات كافية لأن تسبق موجة الصدمة من تفجير نووي تحت الأرض. وأشارت الدراسة الثانية الى أن المتفجرات التقليدية في أنبوبة شعاعية من الأداة النووية يمكن أن توفر ضغطاً مضاداً كافياً لحفظ أنبوبة أخذ العينات مفتوحة بعد الانفجار النووي.

وكما يتضح من هذه الأمثلة فان استخلاص العناصر فوق البلوتونيوم من أحداث التفجيرات النووية يحتاج الى وقت طويل نسبياً. فاذا أمكن تطوير تقنيات الاستخلاص للحصول على عينات من العناصر الثقيلة قبل أن تصبح مخففة فانه قد يمكن استخدام كميات ملائمة من الكوريوم ـ ٢٥٠ والفرميوم ـ ٢٥٧ ونظائر أخرى كأهداف لنظائر قصيرة العمر لم تكتشف بعد للفرميوم والمندليفيوم وكذلك في الانتاج الممكن لعناصر ذات عدد ذري أعلى (١٠). وان امكانية الوصول الى « جزيرة الاستقرار » المتنبأ بها عند العنصر ١١٤ لم تعد تبدو بعيدة عن متناول الانسان.

ودراسات هذه العناصر الثقيلة ليست مفيدة فقط في فهم تركيب النواة والقوى النووية ولكن كثيراً من النويدات مطلوبة على مدى واسع من الاستخدامات التشخيصية والعلاجية في الطب وكمصادر لاشعاعات النيوترونات وكمصادر للطاقة لتطبيقات مثل القلوب الاصطناعية والأقمار الفضائية.

رابعاً - التجارب الزلزالية

يتوفر حجم ضخم من المعلومات عن استخدام التفجيرات النووية في تطبيقات جيوطبيعية، مغطية تركيب الأرض وعلم الزلازل وتطبيقات جيوطبيعية أخرى، في مراجع مختلفة وأغلبها موثقة في السلسلة الببليوجرافية رقم ٣٨، (٢).

فلقد كانت الموجات الزلزالية التي تولدها الزلازل الأداة الرئيسية للتجارب الزلزالية على مدى حقبة طويلة من الزمن. وفي الأوقات الحديثة أصبحت الموجات التي تولدها التفجيرات النووية أداة أكبر فاعلية وأقوى جداً لمثل هذه التجارب.

وقد أشار مشلر (١١٦) الى أن الطاقة المنطلقة في تفجير نووي من نفس الرتبة من حيث المقدار كتلك المنتجة في الظواهر الطبيعية مثل المنتجة بزلزال هام. وتقاس طاقة الزلازل تقريباً بمقدارها، وهو مقياس محدد في ٩ بمقاومة الصخور. وقد وصل الى هذا المقدار بزلزالين مدمرين في ١٩٥٠ و١٩٧٥. ويمكن تسجيل زلزال من مقدار ٤، وهو أضعف مائة ألف مرة منهما بواسطة السيزموجرافات فوق أكثر من نصف الكرة الأرضية اذا كانت ظروف الاستقبال مواتية. وينتج تفجير محتوى من واحد ك ط في الجرانيت حركة زلزالية تقارن بتلك التي ينتجها زلزال مقداره حوالي ٤. ومقدار ٩ وهو أقوى ما هو ممكن من الزلازل قد يناظر تفجيراً ذا حوالي ١٠٠ م ط. وقد سمحت مقارنات الطاقة هذه بالتعيين المحدد لمقياس الزلازل. وكمرتبة للكبر فان الطاقة المنطلقة سنوياً من كل الزلازل حوالي ١٠ ٢٧ إرج، أي حوالي ٢٠٠ م ط.

وان دراسة الموجات الزلزالية هي الطريقة الوحيدة لفهم تركيب الأرض. فالبحث المباشر (الحفر) يسمح بالدراسات الى عمق أقصى قدره ١/١٠٠٠ من

نصف قطر الأرض ، بينما تسمح الطرق الكهرومغناطيسية ببحث بضع أجزاء في المائة من نصف قطر الأرض. والموجات الزلزالية هي الوحيدة التي تقطع الأرض من قسم الى آخر وتفاصيل انتشارها تؤدي الى فهم تفاصيل الأرض.

وأهم ميزات للتفجيرات النووية فوق الزلازل كمصادر زلزالية ثلاث (١٠):

١ ـ أنها في أماكن معروفة.
٢ ـ توضع برامجها في وقت سابق وبالتالي يمكن أن تعد التجهيزات على أساس أمثل.
٣ ـ يمكنها توفير مصادر في مناطق غير زلزالية.

وقد أجري عدد من التجارب النووية لدراسة الظواهر الزلزالية في ارتباط باعتبارات معاهد حظر الاختبارات (أمثلة على ذلك، شول، وسالمون، وجراندشت) (٩). وبالاضافة فان تفجيرات ذات أغراض رئيسية قد صاحبتها تجهيزات زلزالية واسعة، وتتضمن بعض النتائج الموضحة والمدهشة غالباً والتي حصل عليها ما يلي:

١ ـ اعادة تعيين أوقات السفر الكلية للموجات الزلزالية.
٢ ـ اعادة تعيين التوزيع الكلي لسعات الموجات الزلزالية.
٣ ـ تحديد واعادة تقييم قشرة الأرض (٤٠ كم الأكثر علواً) وغلاف الأرض (٨٠٠ كم الأكثر علواً).
٤ ـ تحسين المعرفة عن قلب الأرض.

ويؤكد ثيرلاواي (١١٧) وآخرون أن الاهتمام الأول هو دراسة التغييرات التي تحدث في أول ٦٠٠ ـ ٨٠٠ كم أو شيء من هذا من سطح الأرض حيث أنه في هذه الطبقة تحدث العمليات المسؤولة عن الزلزال والبراكين، ومعالم سطح الأرض، وتركيز المصادر المعدنية. وعلى ذلك يذكر نورديك (١٠) أن بللن قد

استخدم اختبارات بيكيني لتحديد تركيب القشرة تحت استراليا. وقد أدى تفجير جنوم الى اعادة تقييم القشرة والغلاف لوسط الولايات المتحدة. وقد استخدم علماء الزلازل الفرنسيون الاحداث السوفييتية في منطقة سميبالاتنسك والاحداث الصينية في لوب نور لتعيين التركيب العميق لغلاف الأرض تحت فرنسا والمنطقة المحيطة بها مباشرة (١١٦).

وقد أدت الدراسة المستمرة للاشارات من الاختبارات في نفادا الى تحسين كبير في معرفتنا لقلب الأرض كما ظهر في أوقات السفر الشاذة، ونطاقات الظلال (١٠). وعلى أساس توزيع جديد للسرعة وأوقات السفر التي لوحظت، قدر تجارت وزملاؤه (١١٨) أن قلب الأرض له نصف قطر قدره ٣٤٧٧ ± ٢ر٠ كم (العمق = ٢٨٩٤ ± ٢ر٠ كم).

وان احدى النتائج المشوقة جداً لاستخدام التفجيرات النووية في التجارب الزلزالية هي تحسين نموذج الأرض (١١٦، ١١٧).

ففي دراسة الزلازل وصف علماء الزلازل الأرض بنموذج تماثل كروي على أنها تحتوي على نطاقات كروية متحدة المركز ذات كثافة متزايدة، عبارة عن غلاف أعلى صلب من حوالي ٨٠٠ كم يليه قلب سائل والجزء الأكثر عمقاً يمكن أن يكون صلباً. وهذا التقريب مبالغ فيه للغاية بالقرب من السطح. فللاقتناع به ينتظر ألا يكون هناك فرق بين القارات والمحيطات أو بين طوبوغرافيات المناطق المختلفة. فهذا التماثل لا يمكن ان يكون كاملا قبل عمق ٧٠٠ كم على الأقل حيث أننا نعلم بوجود نطاقات زلزالية محددة الموقع تماما وتنزل حتى هذا العمق.

ورغم ذلك فانه بالزلازل وحدها لم يكن ممكناً الحصول على نموذج أكثر دقة. فالمشكلة التي على علماء الزلازل حلها في الحقيقة معقدة للغاية. اذ تسجل موجات زلزالية غير معروف لها لا مراكز الانطلاق، ولا وقته. وتسافر هذه الموجات خلال وسط غير معروف ولا يمكن دراسته بطريق مباشر. ورغم

ذلك فنحن بحاجة لمعرفة مجمل هذه البرامترات. وعلى ذلك فانه لأمر مرموق أن تمكن علماء الزلازل من اقتراح نموذج التماثل الكروي هذا والصحيح بدرجة متوسطة.

وقد مكنت دراسة التفجيرات النووية من تجديد كامل لعلم الزلازل. فان لدينا الآن مصادر اصطناعية ذات حصائل تقارن بالزلازل ونعرف بالنسبة لها الموقع الجغرافي الدقيق والحصيلة الدقيقة ولحظة الاطلاق.

وعلى ذلك فقد أمكن في المقام الأول تحسين جداول وقت وصول الموجات الزلزالية كدالة للمسافة. ولكن فوق كل شيء قد لوحظت شذوذات اقليمية لوقت الوصول بالنسبة للجداول المتوسطة. ولا يمكن تفسير مثل هذه الشذوذات على أساس أخطاء في القياسات. وفي الواقع فانها تترجم الانحراف بين تركيب الأرض الحقيقي وبين النموذج المتوسط للتماثل الكروي.

وقد جعلت ملاحظات مماثلة في كل العالم من الممكن اقتراح نموذج جديد للأرض. وفي هذا النموذج فان ست طبقات رئيسية من سمك حوالي ١٠٠ كم لكل منها وهي أطباق المحيط اليابس (الليثوسفير) تتبادل بالنسبة لبعضها عند سطح الأرض منزلقة فوق منطقة ذات صلابة أدنى وهي المحيط الواهن (الاسثينوسفير) وبانفصالها من بعضها أثناء الخلق وبالتجدد عند مستوى مرتفعات وسط المحيطات، فانها تدمر بعضها البعض عند حركتها نحو مركز الأرض تحت التكوينات العازلة. وحدود هذه الاطباق الستة تشكل النطاقات الزلزالية وهي عند منشأ الزلازل الناتجة من الحركات التباينية الجارية هناك.

ويفسر هذا النموذج الحديث جيداً الخطوط العريضة لتكتونية الأرض (العملية التي تغير شكل القشرة الأرضية محدثة القارات والجبال الخ) ولازاحة الكتل القارية. وعلى أية حال فانه نظراً لأنه تدخل فيه الازاحات الافقية فقط فانه ليس دائماً كافياً في بعض المناطق الأصغر مثل حوض البحر الابيض المتوسط حيث من المعروف أنه قد حدثت ازاحات رأسية هامة جداً. وفي

الحقيقة فان الدراسة السابق ذكرها للغلاف الأرضي تحت فرنسا والمنطقة المحيطة بها مباشرة قد دخل فيها انقطاع لسرعة الزلازل متعمقاً من الشمال نحو الجنوب عند الهبوط تحت غرب البحر الأبيض.

وان مصدر وسبب ازاحات أطباق المحيط اليابس الكبرى توجد عند عمق اكبر كثيراً جداً وهو حوالي ٢٥٠٠ كم. وقد أطلق الاستاذ بروس في فرنسا على هذه المصادر اسم « نقط الصفر » أثناء دراسته للبركانية في المحيط الهادي، وفي نفس الفترة، ١٩٧١، أطلق عليها استاذ مورجان في الولايات المتحدة اسم « بقع الغلاف الحارة ». وقد أمكن اعطاء الدليل على وجود أمثال نقط الصفر هذه باكتشاف شذوذات في انتشار الموجات التي تنتجها هذه النقط تحت جزر هاواي عند مقارنة التسجيلات التي حصل عليها بالمعدات الجيوطبيعية عند تاهيتي لتفجير كانيكن مع تسجيلات الزلازل الطبيعية التي تحدث في نفس المنطقة.

استنتاجات عامة

لقد تم التوصل الى الاستنتاجات العامة التالية في شأن امكانيات ت ن س.

١ ـ ان التطبيق العملي التجاري الوحيد الذي تحقق في مجال ت ن س هو السيطرة على حريقين بحقلي غاز الاتحاد السوفييتي، وقد أمكن بذلك انقاذ كمية هائلة من المصادر القيمة للغاز الطبيعي. هذا، ويعتبر تحفيز الزيت باستخدام ت ن س في الاتحاد السوفييتي تكنولوجيا مثبتة.

٢ ـ كافة التطبيقات الأخرى، المحتواة والتفويهية، لا تزال في مرحلة البحث والتطوير وعلى درجات مختلفة من بشرى النجاح أو القرب من التطبيق الآمن الاقتصادي، فبينما بعضها قد وصل الى مرحلة متقدمة فان البعض الآخر لا يزال في مرحلة التصور، كما أن هناك مجموعة ثالثة تقع بين هاتين المجموعتين.

٣ ـ تحققت بنجاح وفاعلية كبيرين تطبيقات علمية في مجالات الفضاء وطبيعة النيوترونات وانتاج العناصر الثقيلة وكذلك في مجال علم الزلازل.

شكر وتقدير

يود مؤلف هذا التقرير أن يعبر عن أعمق التقدير لمعهد الانماء العربي الذي كانت مبادرته واهتمامه ومساندته العمود الفقري لبدء واصدار هذا التقرير.

والشكر واجب كذلك للوكالة الدولية للطاقة الذرية لتوفيرها وثائق علمية وهندسية واقتصادية واسعة تغطي مجال ت ن س. فالمعلومات العميقة والواسعة المحتواة في هذه الوثائق تمثل الخبرة العالمية في مجال ت ن س وكانت مصدراً رئيسياً لهذا التقرير.

ويرغب المؤلف أن يعبر عن امتنانه كذلك لكل العلماء والمهندسين من البلدان المختلفة الذين وفروا له بكل كرم معلومات قيمة في شكل تقارير وأوراق بحثية كانت عوناً كبيراً في اعداد هذا التقرير.

ويود المؤلف كذلك أن يقدم الشكر لكل من عاونوه في مراجعة النص المكتوب على الآلة الكاتبة أو في الاعمال السكرتارية والادارية المختلفة والكتابة على الآلة الكاتبة والتصوير.

المراجع

(١) كـــارل ر . جربر ، رتشارد هـــامـــبرجر ، وأي .و . سيـــبروك هـــل ، « بلاوشير » :ل ط ذ أ ، قسم المعلومات التقنية ، (١٩٦٦).

(٢) السلسلة الببليوجرافية رقم ٣٨ ، « الاستخدامات السلمية للتفجيرات النووية » ، و د ط ذ ، فيينا ، (١٩٧٠).

(٣) « التفجيرات النووية السلمية ـ ١ » ، أعمال و د ط ذ ـ ب ل ـ ٣٨٨ ـ فيينا ، (١٩٧٠).

(٤) « التفجيرات النووية السلمية ـ ٢ » ، أعمال و د ط ذ ـ ب ل ـ ٤٢٩ ، فيينا ، (١٩٧١).

(٥) « التفجيرات النووية السلمية ـ ٣ » ، أعمال و د ط ذ ـ ب ل ـ ٣٨٨ ـ ٣ ، فيينا ، (١٩٧٤).

(٦) « التفجيرات النووية السلمية ـ ٤ » ، أعمال و د ط ذ ـ ل ت ـ ١ ـ ٤ ،

ملحوظة:

و د ط ظ	الوكالة الدولية للطاقة الذرية	IAEA
ل ط ذ أ	لجنة الطاقة الذرية الامريكية	USAEC
ب ل	بانل	PL
ل ت	لجنة تقنية	TC
ت ن س	تفجير نووي سلمي	PNE
ص	صفحة	P

فيينا ، (١٩٧٥) .
(٧) ج .و . جونسون ، وج .هـ . هيجنز ، « التطبيقات الهندسية للمتفجرات النووية ، مشروع بلاوشير » ، مؤتمر الامم المتحدة الدولي الثالث عن الاستخدامات السلمية للطاقة الذرية ، الولايات المتحدة ص/١٢٩١ ، جنيف ، (١٩٦٤) .
(٨) أ .ر .و . ويلسون ، « مراجعة للموقف الحالي للتطبيقات الهندسية وتطبيقات تطوير المصادر المعدنية للتفجيرات النووية السلميه » ، مؤتمر الامم المتحدة الدولي الرابع عن الاستخدامات السلمية للطاقة الذرية A/مؤتمر ـ ٤٩ /ص/٧٦٢ ، جنيف ، (١٩٧١) .
(٩) « التفجيرات النووية للأغراض السلمية » ، تقرير المجموعة الاستشارية المتخصصة في التفجيرات النووية للأغراض السلمية ، و د ط ذ ، (١٩٧٧) . ويمكن الحصول على هذه الوثيقة عن طريق الطلب بواسطة السلطات الحكومية الرسمية فقط .
(١٠) م .د . نورديك ، « الاستخدامات السلمية للتفجيرات النووية » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ١٢/٣٨٨ ، (١٩٧٠) ، ٤٩ .
(١١) ر . هامبرجر ، « التسلسل الزمني لبلاوشير » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ١٣/٣٨٨ ، (١٩٧٠) ، ٣٥ .
(١٢) ج . تومان ، « نتائج تجارب التفويه » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ١٦/٣٨٨ ، (١٩٧٠) ، ٣٤٥ .
(١٣) هيجنز ، ج .هـ و . ت . ر ، وبكوفتش ، « تأثير المحتوى المائي والحصيلة والوسط وعمق الانفجار على أنصاف أقطار الفجوات » معمل لورانس الاشعاعي ، ٣ . ٢ . ٥ ـ UCRL ، ١٩٦٧) .
(١٤) س . درليش ، « تأثيرات تفجير نووي تحت الأرض في وسط الصخر : دراسة محتويات الفجوة ودراسة نطاق التحطيم والتشريخ » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ١٠/٣٨٨ ، (١٩٧٠) ، ١٢٣ .

(١٥) ل . ميشو وزملاؤه ، « التأثيرات الميكانيكية في النطاق القريب لتفجير نووي تحت الأرض في الجرانيت » ، و د ط ذ - ب ل - ١١/٣٨٨ ، (١٩٧٠) ، ١٣٩ .

(١٦) ل . ميشو ، « التأثيرات الميكانيكية فيما بعد النطاق القريب من تفجير نووي تحت الأرض في الجرانيت » ، و د ط ذ - ب ل - ٨/٣٨٨ ، (١٩٧٠) ، ١٥١ .

(١٧) ورقة سوفييتية ، « التأثيرات الميكانيكية للتفجيرات النووية تحت الأرض » ، و د ط ذ - ب ل - ٢٤/٣٨٨ ، (١٩٧٠) ، ١٨٧ .

(١٨) ج . ت . شيري وزملاؤه ، « المحاكاة العددية لانتشار موجة الاجهاد من التفجيرات النووية تحت الأرض » ، و د ط ذ - ١٥/٣٨٨ ، (١٩٧٠) : « ، ٢٤١ »

(١٩) ل .ل . كاميرون وزملاؤه ، « نموذج نظري للأطوار المبكرة لتفجير تحت الأرض » ، و د ط ذ - ب ل - ٤/٣٨٨ ، (١٩٧٠) ، ٣٣١ .

(٢٠) هـ . فريو وزملاؤه ، « التأثيرات الميكانيكية لتفجير نووي محتوى » ، و د ط ذ - ب ل - ١٩/٤٢٩ ، (١٩٧١) ، ٢٥٣ .

(٢١) ر .و . ترهيون وزملاؤه ، « حساب تشريخ الصخور من مصدر تفجيرات نووية متعددة » ، و د ط ذ - ب ل - ٣٨٨ - ٣/١٠ ، (١٩٧٤) ، ٢٥١ .

(٢٢) باربارا ك . كرولي وزملاؤها ، « تحليل لماربل ، تجربة أنبوبة صدمة نووية » ، و د ط ذ - ب ل - ٣٨٨ - ٣/٣ ، (١٩٧٤) ، ٢٧٧ .

(٢٣) يو . أ . اسرائيل ، « الظاهرية والتلوث الجوي بنواتج تفجير نووي تحت الأرض » ، و د ط ذ - ب ل - ٣٨٨ - ٢٣/٣ ، (١٩٧٤) ٣٠١ .

(٢٤) ف . ن . روديانوف وزملاؤه ، « تقييم الاجهادات المتخلفة الممكنة في مسيف صخري بعد تفجير » ، و د ط ذ - ل ت - ١ - ١٥/٤ ،

(١٩٧٥)، ٣٩١ .
(٢٥) ف . ج . لوكيشوف وزملاؤه ، « بحث نموذجي عن التأثير التحطيمي للتفجيرات » ، و د ط ذ - ل ت - ١ - ٤/١٦ ، (١٩٧٥)، ٤٤١ .
(٢٦) و . سي . داي ، « الفوهات كانشاءات هندسية » ، و د ط ذ - ب ل - ٣٨٨ - ٣/٧ ، (١٩٧٤)، ١٩٣ .
(٢٧) ج . كوتر وزملاؤه ، « دراسات تجريبية ونظرية عن أبعاد الفوهات المنتجة بتفجيرات كيميائية في التربة » ، و د ط ذ - ب ل - ٣٨٨ - ٣/١٥ ، (١٩٧٤)، ٢٣٥ .
(٢٨) ف . ف . كيربيف وزملاؤه ، « تفجير نووي تفويهي بشحنات صف في صخور اللوفيوم » ، و د ط ذ - ل ت - ١ - ٤/١٤ ، (١٩٧٥)، ٣٩٩ .
(٢٩) ر . شندامبرا ، ور . رامانا ، « بعض الدراسات عن تجربة التفجير النووي السلمي الهندية » ، و د ط ذ - ل ت - ١ - ٤/١٩ ، (١٩٧٥)، ٤٢١ .
(٣٠) ورقة سوفييتية ، « طرق محاكاة تفجيرات التفويه مع السماح بفجوة » ، و د ط ذ - ب ل - ٣٨٨/٢٣ ، (١٩٧٠)، ٤٠٥ .
(٣١) ر . د . ترهيون وزملاؤه ، « تفجير تفويهي من حاسب رقمي » ، و د ط ذ - ب ل - ٣٨٨/١٧ ، (١٩٧٠)، ٤١٥ .
(٣٢) هـ . أ . تيويس ، ول . ل . شفارتز ، « المسارات المحتملة الى الانسان للنويدات المشعة من التطبيقات المحتواة للتفجيرات النووية السلمية » ، و د ط ذ - ل ت - ١ - ٤/٧ ، (١٩٧٥)، ٢٩٧ .
(٣٣) ل . ل . شفارتز ، هـ . أ . تيويس ، و . ل . روبنسون ، وك . ر . بترسون « المسارات المحتملة الى الانسان للنويدات المشعة من تطبيقات التفويه للتفجيرات النووية السلمية » ، و د ط ذ - ل ت - ١ - ٤/٩ ، (١٩٧٥)، ٣٢١ .
(٣٤) ر . أ . سيدونز ، « انتاج الاشعاعية في التفجيرات النووية السلمية » ، و د ط ذ - ب ل - ٣٨٨ - ٣/١٨ ، (١٩٧٤)، ٣٥٣ .

(٣٥) ف . ن . كوستيوشنكو وزملاؤه ، « التأثير على المباني للموجات الزلزالية المتولدة بالتفجيرات النووية تحت الأرض » ، و د ط ذ - ب ل - ٣٨٨ - ٢١/٣ ، (١٩٧٤) ، ٤٤٣ .

(٣٦) ف . ن . كوستيوشنكو وزملاؤه ، « الموجات الزلزالية التي تولدها التفجيرات النووية تحت الأرض » ، و د ط ذ - ب ل - ٣٨٨ - ٢٠/٣ ، (١٩٧٤) ، ٤٤٧ .

(٣٧) ج ، و . ريد ، « تقييم شدة الضرر على زجاج النوافذ في سان أنطونيو ، Ann أكاديمية العلوم بنيويورك (٢٦ أكتوبر ١٩٦٨) .

(٣٨) م . ديبوي ، وسي . همبرت - دروز ، « التنبؤ بمستويات الاشعاعية التي يحصل عليها بعد طلقة محتواة » ، و د ط ذ - ب ل - ٣٨٨ - ١٣/٣ ، (١٩٧٤) ، ٣٤١ .

(٣٩) كاي إدواردسون ، وج . برسون ، « جرعات الجمهور من التفجيرات النووية تحت الأرض » ، و د ط ذ - ب ل - ٣٨٨ - ٢٥/٣ ، (١٩٧٤) ، ٤٢٩ .

(٤٠) م . ب . جريشوشكينا وزملاؤه ، « الاتجاهات التقنية الممكنة لوضع معايير أمان لاجراء التفجيرات النووية السلمية » ، و د ط ذ - ل ت - ١ - ٢٢/٤ ، (١٩٧٥) ، ٣٧٧ .

(٤١) يو . أي . اسرائيل وزملاؤه ، « انتشار وترسيب النواتج المشعة من سحابة تفجير نووي تحت الأرض » ، و د ط ذ - ل ت - ١ - ١٧/٤ ، (١٩٧٥) ٣٥٥ .

(٤٢) ل . روجرز ، . « تحديد تأثيرات التفجير على خزان جاسبجي من المحاكاة بالكمبيوتر لتاريخ الانتاج اللاحق للطلقة » ، الهندسة بالمتفجرات النووية أعمال سمبوزيوم ANS ، لاس فيجاس ، (١٩٧٠) .

(٤٣) مشروع كتش ، « دراسة جـدوى عن خلـق تخزين للغـاز الطبيعي بالتفجيرات النووية » ، شركة الخدمات لنظام غاز كولومبيا ، تقرير ت ن س ـ ١٢٠٠ (١٩٧٠).
(٤٤) « دراسة طفل زيت برونكو » ، تقرير الولايات المتحدة ت ن س ـ ١٤٠٠ (١٩٦٧).
(٤٥) « مشروع سلوب » تقرير الولايـات المتحـدة ت ن س ـ ١٣٠٠ (١٩٦٧).
(٤٦) ج . هـ . هيجنز ، « بيـانـات عن التفجـيرات النوويـة للتطبيقـات الهندسية تحت الأرض » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ١٤/٣٨٨ ، (١٩٧٠) ، ١١١ .
(٤٧) م . د . نورديك ، « التطبيقات الهندسية تحت الأرض . التصورات والخبرة : تحفيز الغاز بواسطة ت ن س » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٣/٤٢٩ (١) ، (١٩٧١) ، ٢٣ .
(٤٨) س . سميث ، « التطبيقات الصناعية لتكنولوجيا التفجير النووي في خزانات الغاز الطبيعي » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٦/٤٢٩ ، (١٩٧١) ، ١٢٧ .
(٤٩) د . ج . جـاكوب ، واي . ج . ستركسنس ، « اعتبـارات الأمـان الراديولوجي في توزيع الغاز الطبيعي المحتوي على نويدات مشعة » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٥/٤٢٩ ، (١٩٧١) ، ٣١٩ .
(٥٠) م . ج . كلي وزملاؤه ، « المخاطر النسبية من النويدات المشعة الموجودة في الغاز الطبيعي المحفز نووياً » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٣٨٨ ـ ٩/٣ ، (١٩٧٤) ، ٣٢١ .
(٥١) أ . د . ثورنـبراو ، « الممـارسات الحـاليـة والتحسينـات المتوقعـة في ت ن س » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٢/٤٢٩ ، (١٩٧١) ، ٢٣٥ .

(٥٢) ل . آمودت ، « روليسون : الاعتبارات الهندسية للتفجير والموضع تحت الأرض » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٤/٤٢٩ ، (١٩٧١) ، ٦١ .

(٥٣) و . ر . وودرف ، و . بين س . جويدو ، « مشروع ريوبلانكو ـ الجزء الأول . العمليات النووية والدخول ثانية للمدخنة » ، و د ط ذ ـ ل ت ـ ١ ـ ٤/٤ ، (١٩٧٥) ، ٢٩ .

(٥٤) ج . تومان ، « مشروع ريوبلانكو ـ الجزء الثاني . بيانات اختبارات الانتاج والتحليل الأولي للمدخنة/الفجوة العلوية » ، ملخص تقرير عالم المشروع ، و د ط ذ ـ ل ت ـ ١ ـ ٤ ـ ٥/٤ ، (١٩٧٥) ، ١١٧ .

(٥٥) م . ع . الجبيلي ، أ . م . الشاذلي ، وم . ك . دياب « احتمالات التطبيقات السلمية للتفجيرات النووية في مصر » ، مؤتمر الامم المتحدة الدولي الرابع عن الاستخدامات السلمية للطاقة الذرية ، A/مؤتمر ـ ٤٩/ص/١٤٤ ، جنيف (١٩٧١) .

(٥٦) م . ع . الجبيلي ، وأ . م . الشاذلي ، « بيان عن التفجيرات النووية السلمية » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٣٨٨ ـ ٢/٣ ، (١٩٧٤) ، ٣ .

(٥٧) ورقة سوفييتية ، « تطبيقات التفجيرات النووية المحتواة في الصناعة » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٢٠/٣٨٨ ، (١٩٧٠) ، ١٦٣ .

(٥٨) ورقة سوفييتية ، « التفجيرات النووية الكاملة الاحتواء كوسيلة لزيادة انتاج الزيت » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٢٠/٤٢٩ (١) ، (١٩٧١) ، ١٠٥ .

(٥٩) ورقة سوفييتية ، « التأكد من الامان الاشعاعي في صلته بالتفجيرات النووية الكاملة الاحتواء » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٢٠/٤٢٩ (٢) ، (١٩٧١) ، ١٠٥ .

(٦٠) ورقة سوفييتية ، « انتشار النواتج المشعة في نطاق الصخر المشرخ الناتج من تفجير نووي كامل الاحتواء : حساب التلوث الممكن للزيت

من خـلال المحـاولات لتكثيـف الاستخراج بواسطـة التفجـيرات النووبة »، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٢١/٤٢٩ ، (١٩٧١)، ٢٨٣ .

(٦١) ك . باركر ، « بعض التطبيقات الممكنة للتفجيرات النووية السلمية في استخلاص المصادر الطبيعية من تحت قاع البحر »، و د ط ذ ـ ل ت ـ ١ ـ ١٢/٤ ، (١٩٧٥)، ١٤١ .

(٦٢) ورقة سوفييتية ، « التفجيرات النووية الكاملة الاحتواء كوسيلة لوقف آبار الزيت والغاز الشاردة »، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٢٠/٤٢٩ (٣)، (١٩٧١)، ٢٠٩ .

(٦٣) ك . ف . ميـاسنيكوف وزمـلاؤه ، « تطوير الاساس العلمي والتكنولوجي لخلق خزانات في تكوينات ملحية بواسطة التفجيرات النووية »، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٣٨٨ ـ ١٩/٣ ، (١٩٧٤)، ١٧٩ .

(٦٤) ورقة سوفييتية ، « بحث عن التفجيرات النووية الكاملة الاحتواء في الملـح الصخري بهـدف تطوير تقنيـات فجوات التخزين تحت الأرض »، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٢٢/٤٢٩ ، (١٩٧١)، ٢٠١ .

(٦٥) كدروفسكيج وزملاؤه ، « استخدام التفجيرات النووية المحتواة لخلق خزانـات تحت الأرض والخـبرة في تشغيـل هـذه الخزانـات لتخزين متكثف الغاز »، و د ط ذ ـ ل ت ـ ١ ـ ١٣/٤ ، (١٩٧٥)، ٢٢٧ .

(٦٦) ب . ل . راندولف ، « تطبيق ت ن س في تخزين الغاز »، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٧/٤٢٩ ، (١٩٧١)، ١٦٧ .

(٦٧) هـ . ج . أوتواي ، طريقة لتقدير الخطر من انفجار بلاوشيري »، و د ط ذ ـ ب ل ـ ١٠/٤٢٩ ، (١٩٧١)، ٣٠٥ .

(٦٨) ك . بـاركر ، « تخزين الغـاز الطبيعي في فجوات مخلوقـة بواسطـة التفجيرات النووية تحت الأرض »، و د ط ذ ـ ب ل ـ ١٦/٤٢٩، (١٩٧١)، ١٣٩ .

(٦٩) ل . فان ديرهارست ، « تخزين الغاز الاوروبي : تطبيق المتفجرات النووية » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٩/٤٢٩ ، (١٩٧١) ، ١٨٣ .

(٧٠) أ . بـــــارتو ، ج . فور ، ل . ميشو ، ور . نيلسون ، « دراسة فجوات التخزين المخلوقة بوسائل نووية » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٣٨٨ ـ ١٤/٣ ، (١٩٧٤) ، ١٤٣ .

(٧١) « مشروع كتش : دراسة جـدوى خلـق تخزين للغـاز بـالتفجـيرات النووية » ، شركة الخدمات لنظام غاز كولومبيا ، تقرير ت ن س ـ ١٢٠٠ (يوليو ١٩٦٧) .

(٧٢) وذرسبون ، ب . أ . ، « اقتصـاديـات التفجـيرات النوويـة في تطوير تخزين للغاز تحت الأرض » ، جامعة كاليفورنيا ، تقرير ١٤٨٧٧ ـ UCRL (يوليو ١٩٦٦) .

(٧٣) هـ .و .سونز ، « جدوى المعالجة الحرارية الموضعية لطفل زيت نهر جرين باستخدام المتفجرات النووية للتشريخ » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٣٨٨ ـ ٦/٣ ، (١٩٧٤) ، ٩٩ .

(٧٤) أ . اي . ليويس ، « الاستخلاص النووي الموضعي للزيت من طفل الزيت » : و د ط ذ ـ ل ت ـ ١ ـ ٢/٤ ، (١٩٧٥) ، ١٥٣ .

(٧٥) هـ . سي . كاربنتر ، ود . ب . لمبارد . ، « استخلاص الزيت بالمعالجة الحرارية لمدخنة نووية في طفل الزيت » ، مجلة تكنولوجيا البترول ، ١٩٦ ، (١٩٦٧) ، ٧٢٧ .

(٧٦) لمبارد ، د . ب . ، « استخلاص طفل الزيت بالمتفجرات النووية » ، مجلة تكنولوجيا البترول ، (اغسطس ١٩٥٥) ، ٨٧٧ .

(٧٧) هـ . و . سونز ، وهـ . سي . كاربنتز . ، « المعالجة الحرارية الموضعية لطفل الزيت » ، تقدم الهندسة الكيميائية ، ٨٦٢ ، (١٩٦٦) ، ٧٥ .

(٧٨) م . د . نورديـــك ، « تطبيقـــات ت ن س أخرى تحت الأرض » ،

و د ط ذ ـ ب ل ـ ٣/٤٢٩ (٢)، (١٩٧١)، ٢٢٣ .
(٧٩) أ . اي . ليويس ، و . ر . ل . براون ، وج . هـ . هيجنز ، « تفجير نووي تحت الأرض كمقدمة للتعدين الكيميائي لكبريتيدات النحاس الاولية » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٣٨٨ ـ ١٢/٣ ، (١٩٧٤)، ١٥٧ .
(٨٠) ر . ل . براون ، ا . اي . ليويس ، ور . ج . مالون ، « الاذابة الموضعية لراسب نحاس مكسر بواسطة ت ن س » ، و د ط ذ ـ ل ت ـ ١ ـ ٦/٤ ، (١٩٧٥)، ٢٥٧ .
(٨١) ج . هـ . هيجنز، « اقتصاديات وأمان التعدين النووي للنحاس » ، UCRL.- ٧٣٦١١ ، (١٩٧٢).
(٨٢) م . د . نورديك، « حول استخدام المتفجرات النووية لتحفيز الحرارة الجيوحرارية » ، (اعمال سيمبوزيوم ANS ، لاس فيجاس ، (١٩٧٠) ٢ ANS, (١٩٧٠)، ١٣٨٤ .
(٨٣) ج . ب . برهام ، « اقتصاديات قوى بلاوشير الجيوحرارية » ، الهندسة بالمتفجرات النووية ، (أعمال سيمبوزيوم ANS ، (١٩٧٠)، ٢ ANS ، (١٩٧٠)، ١٣٧٦ .
(٨٤) أوبزور فزموزنك وزملاؤه ، « مراجعة للتطبيقات المكنة للتفجيرات النووية السلمية في الاقتصاد السوفييتي » ، موسكو (١٩٦٩)، ترجمة و د ط ذ ٤٧ . ٨ ـ ٦٩ .
(٨٥) تومان ، ج ، « مشروع بجي : تجربة حفر بشحنات صف » ، معمل لورانس للاشعاع ، تقرير UCRL ـ ٧١٢٨٠ ، (١٩٦٨).
(٨٦) ورقة سوفييتية ، « تطبيق تفجيرات التفويه في الصناعة والبناء » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٢١/٣٨٨ ، (١٩٧٠)، ٣٧٧ .
(٨٧) « الهندسة بالمتفجرات النووية » ، TID ـ ٧٦٩٥ ، (١٩٦٤)، ٣٢١ .
(٨٨) سفاسقي سريزوخ ، « مشروع قناة كرا التيلاندية » ، و د ط ذ ـ ل ت ـ

١ ـ ١/٤ ، (١٩٧٥) ، ٢٠٩ .

(٨٩) ف . باز ـ كاستللو ، وب . كروجر ، « تصميم قناة للملاحة لربط نهري أورينوكو وريو ـ نجرو في أرض الأمازونس الفيدرالية ، فنزويلا » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٣٨٨ ـ ١/٣ (١٩٧٤) ، ٦٩ .

(٩٠) ف . باسلر، « دراسة مشروع القطارة » ، الجزء الأول والجزء الثاني (تقرير) ، جامعة دارمشتات ، جمهورية المانيا الاتحادية ، ١٩٧٣ .

(٩١) أ . م . الشاذلي « تطوير مشروع القطارة ، مصر » ، و د ط ذ ـ ل ت ـ ١ ـ ٦/٥ ، (١٩٧٨) ، ٩٧ .

(٩٢) ر . ل . لافرنز ، « الحفر بالتفجير لتطبيقات البيئة المائية وقطوع الطرق » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ٣٨٨ ـ ٨/٣ ، (١٩٧٤) ، ٢٧ .

(٩٣) س . هانس، وج . تومان، « انتاج الركام بالمتفجرات النووية » معمل لورانس للاشعاع ، تقرير ١٢١٨٠ ـ UCRL ، مراجعة ٢ ، (مايو ١٩٦٥) .

(٩٤) لجنة الطاقة الذرية ، واشنطن د . سي ، « مركبة مثل صاروخ مدفوعة نووياً » ، براءة اختراع بريطانية ٨٧٧٣٩٢ ، ١٣ سبتمبر ١٩٦١ .

(٩٥) د . م . كول ، « امكانية دفع مركبات بالتفجيرات النووية المحتواة » ، التقدم في علوم الرحلات الفضائية ، مجلد ٦ ، ماكميلان نيويورك ، (١٩٦١) ، ٧٢٦ .

(٩٦) ف . ج . ديون ، « احتواء تفجيرات القنابل » ، ص٥٥ ـ ٦٠ من « أعمال المؤتمر عن التطبيقات العلمية للتفجيرات النووية الذي عقد في يوليو ٦ ـ ٨ ، ١٩٥٩ ، لوس آلاموس ، نيومكسيكو » ، كووان ، ج . أ . ، تجميع ٢٤٤٣ ـ LAMS ، معمل لوس آلاموس العلمي ، نيومكسيكو ، ٢٣ سبتمبر (١٩٦٠).

(٩٧) ف . ج . ديون ، « السفر بين النجوم » ، الفيزياء اليوم ، ٢١ ، ١٠ ،

(أكتوبر ١٩٦٨)، ٤١ .
(٩٨) ر . أ . هيكمـان، «جـدوى استخـدام المتفجرات النوويـة في استخـلاص المـاء من صخور القمر »، ٧٥١٥ ـ UCRL ، جـامعـة كاليفورنيا ، معمل لورانس للاشعاع ، ٢٥ سبتمبر ١٩٦٣ ، ١٥ ص ، مؤتمر ـ ٣٨٦ ـ ١ ، مجموعة التعدين والمعالجة الفرعية لمجموعة العمل للمصادر القائمة خارج الأرض وداخلها ، جولدن، كولورادو، (سبتمبر ١٩٦٣) .
(٩٩) ت . ب . كوك ، «استخدام التفجيرات النووية في الجو الأعلى كأداة بحثية »، ص٨٩ ـ ٩٥ من أعمال سيمبوزيوم بلاوشير الثاني »، مايو ١٣ ـ ١٥ ، ١٩٥٩ ، سان فرانسسكو، كاليفورنيا ، الجزء الخامس ، ٥٦٩١ ـ UCRL ، جامعة كاليفورنيا ، معمل لورانس للاشعاع ، ومكتب عمليات سان فرنسسكو (ل ط ذ أ)، كاليفورنيا ، ١٥ مايو ، ١٩٥٩ .
(١٠٠) هـ . آرجو، زملاؤه ، «التفجـيرات النوويـة في الفضـاء لـلأغراض العلمية »، نفس المرجع السابق ص٩٦ ـ ١١٠ .
(١٠١) س . ج . بيم، (معمل لوس آلاموس العلمي ، نيومكسيكو)، «قياسات وقت الطيران أجريت بنيوترونات من تفجيرات نووية في الفضاء »، مؤتمر ـ ٤٨١ ـ ٧١ ، الاجتماع السنوي للجمعية الطبيعية الامريكية ، نيويورك ، (يناير ١٩٧٤)، ٢٩ .
(١٠٢) ف . ج . ديون ، «اقتراح بتجربة لقياس وقت حياة النيوترون »، ص٤٢ ـ ٥٠ من «أعمال المؤتمر عن التطبيقات العلمية للتفجيرات النوويـة المنعقـد في يوليو ٦ ـ ٨ ، ١٩٥٩ ، لوس الاموس ، نيومكسيكو »، كووان ، ج . أ . ، تجميع ٢٤٤٣ ـ LAMS ، معمل لوس آلاموس العلمي ، نيومكسيكو ، ٢٣ سبتمبر ، ١٩٦٠ .

(١٠٣) س . د . سوفتكي ، ور . ك . سكواير ، . « تجربـــــة تشتـــــت كهرومغناطيسي في الفراغ » ، ٥٩٦٨ ـ UCRL ، جامعة كاليفورنا ، معمل لورانس للاشعاع (١٧ مايو ١٩٦٠) ، ٢٢ .
(١٠٤) أو . س . وولشيك . ، (معهد البحوث النووية ، وارسو) ، « مصادر طـاقـة نوويـة اصطنـاعيـة في الفضـاء الكوني » ، ص٦٧ ـ ٨٧ من « كنجرس الرحلات الفضائية الدولي التاسع ، امستردام ، ١٩٥٨ ، الاعمال ، مجلد ١ » ، ف . هشت ، تحرير فيينا ، سبرنجر ـ فرلاج ، (١٩٥٩) . (بالالمانية) .
(١٠٥) ب . أ . سيجر ، « قياس المقاطع الفعالة النووية بأدوات نووية » ٦٨٩٧ ـ LA-DC ، معمل لوس آلاموس العلمي ، نيومكسيكو ، لا تـــاريـــخ ، ١٣ ص ، مؤتمر ـ ٦٥٠١٠٤ ـ ١ ، مؤتمر عن الاصطنـــاع النيوكلوني ، نيويورك .
(١٠٦) معمل لوس الاموس العلمي ، نيومكسيكو ، « المقاطع الفعالة للانشطار من بترل » ، ٣٥٨٦ ـ LA ، ١٩ سبتمبر ١٩٦٦ ، ٢٣١ ص .
(١٠٧) ج . كووان ، وزملاؤه ، « تماثل انشطار البلوتونيوم ـ ٢٣٩ المستحث بـالنيوترونـات في منطقـة الرنـين » ، ص٣٤٧ ـ ٥٤ من « أعمـال سيمبوزيوم طبيعة وكيمياء الانشطار المنعقد في سالزبورج ، مارس ٢٢ ـ ٢٦ ، ١٩٦٥ » ، فيينا ، و د ط ذ ، ١٩٦٥ .
(١٠٨) ج . أ . كـــووان ، وأ . تـــركيفتش ، وسي . أى . بـــراون ، « تماثـــل انشطـار اليورانيوم ـ ٢٣٥ المستحـث بـالنيوترونـات عنـد رنـائن منفردة » ، مراجعات الفيزياء ١٢٢ ، (١٩٦١) ، ١٢٨٦ .
(١٠٩) ج . أ . كووان ، وب . ب . بايهرست . ، وبرستوود ، ر . ج . ، « تماثل انشطـار اليورانيوم ـ ٢٣٥ المستحـث بـالنيوترونـات عنـد رنـائن منفردة » ، الجزء ٢ ، ٥٦٣٦ ـ LADC ، معمل لوس آلاموس العلمي ، نيومكسيكو ، مراجعات الفيزياء ، ١٣٠ ، (١٩٦٣) ، ٢٣٨٠ .

(١١٠) ج. أ. كووان، وب. سي. ديفن . ، «الوضع الحالي للتطبيقات العلمية للتفجيرات النووية»، الهندسة بالمتفجرات النووية، (أعمال سيمبوزيوم ANS، لاس فيجاس، يناير ١٩٧٠).
(١١١) و. هـ. ماك ماستر ، «تجربة استقطاب نيوتروني»، ص١٣ - ١٨ من «التطبيقات العلمية للتفجيرات النووية في مجال علوم الطبيعة والزلازل والأرصاد والفضاء»، UCRL - ٥٦٧٩، جامعة كاليفورنيا، معمل لورانس للاشعاع، ١٥ مايو ١٩٥٩.
(١١٢) ج. أ. كووان ، «انتاج الكاليفورنيوم - ٢٥٢ في التفجيرات النووية الحرارية»، LA—DC - ١٠٠٢١، معمل لوس آلاموس العلمي، نيومكسيكو، ١٩٦٨، ٦ ص، مؤتمر ٦٨١٠٣٢ - ١، سيمبوزيوم عن الكاليفورنيوم - ٢٥٢، الجمعية النووية الامريكية، نيويورك.
(١١٣) اى. ب. هروتز ، وزملاؤه، «معالجة الانقاض الصخرية من اجل العناصر فوق البلوتونيوم المنتجة بتفجيرات نووية تحت الأرض»، ANL - ٧١٣٤، معمل آرجون القومي، ٣ فبراير ١٩٦٦، ٢٤ ص.
(١١٤) د. ج. كاريكر، وو. سي. بركنز . ، «استخلاص الاكتينيدات المنتجة بانفجار نووي في تكوينات ملحية»، DP-٩٥٦، ديبون دي نيمور (.E.I) وشركاه، آيكن، س. ج.، مختبر سفاناريفر، يونيو ١٩٦٥، ٤٧ ص.
(١١٥) معمل أوك ريدج القومي، تنيسي، «التطبيقات الكيميائية للمتفجرات النووية (مشروع كوتش)»، ص٢٣٥ - ٩ من «قسم التكنولوجيا الكيميائية، تقرير تقدم العمل السنوي للفترة المنتهية في ٣١ مايو، ١٩٦٣»، ORNL - ٣٤٣٢، ٢٠ سبتمبر، ١٩٦٣.
(١١٦) ف. مشلر «الأهمية الجيوطبيعية للتفجيرات النووية»، و د ط ذ - ب ل - ٣٨٨ - ١٦/٣ (١٩٧٤)، ٤٧١.

(١١٧) هـ . أى . سى . ثرلاواي ، « سيزمولوجيا التفجيرات » ، و د ط ذ ـ ب ل ـ ١٧/٤٢٩ ، (١٩٧١) ، ٢٧٥ .
(١١٨) ج . تاجارت ، واي . ر . انجدال . ، « تقدير أوقات سفرPcP وعمق القلب » ، مجلة جمعية علم الزلازل الامريكية ، ٥٨ ، (١٩٦٨) ، ١٢٩٣ .

بعض مصطلحات وتعبيرات فنية متكررة

(أ)

اتجاه المعالجة او الاتجاه	approach
اجهاد	stress
احتياطي طوارىء	contingency
اخفاق	failure
اذابة	leaching
ارسال	transmission
استثارة	excitation
أسر	capture
استطارة	scatter
أسلاف	precursors
استئصالية	ablating
اصطناع	synthesis
أمثل	optimun
أعمال (بالمراجع)	proceedings
انتاج	output, production
انحلال	decay
أنقاض	debris

انكسار	refraction
اهتمام	concern

(ب)

بركانية	igneous
بريكه	puddle
بعثرة	scattering

(ت)

تجاويف الثقوب	bore holes
تجريبي	empirical
تحديث	updating
تجويف	bore
تحلل	decomposition
تحليل	analysis, resolution
تحليل فورتيوري	fortiori analysis
تحفيز	stimulation
تخوم	limits
تدريع	shielding
تدفق	influx
تردد	frequency
تزويد بساق	stemming
تساقط خلفي	fall-back
تسليح	arming
تشتت	dispersion
تصدع	failure

تضاغط	compression
تعدين بالتجويف في كتل	block cave mining
التفويه	cratering
تقدير	assessment, estimation
تقدير اجتهادي	judgement
تقدير مستقبلي	projection
تقيم	evalution
تكاليف عامة	overhead charges
تكلفة	cost
التكلفة والفاعلية	cost effectiveness
التكلفة والمنفعة	cost benefit
تكوم	bulking
تكييف الضغط	pressurization
تنفيس	venting
توتر	tension
توف	tuff
توهين	attenuation

(ث)

ثابت الحرارة	adiabatic
ثمن	charge

(ج)

جسيمات	particles
جيوحراري	geothermal

(ح)

event	حدث
thermal	حراري
yield	حصيلة
excavation	حفر
over-burden	الحمل العلوي

(خ)

off-peak	خارج الذروة
hazard, danger	خطر
rarifaction	خلخلة
background	خلفية
characteristics	خواص مميزة

(د)

propellants	دافعات
function of	دالة لكذا
rubble	دبش
claims	دعاوى
upthrust	الدفع العلوي

(ذ)

oscillation	ذبذبة
peak	ذروة

(ر)

الرمى الخارجي	throw-out
رقابة	monitoring
ركام	mound, aggregate

(ز)

وزملاؤه	et al

(س)

سعر	price
سعة	amplitude
سقوط	head
سلامة	integrity
سلسلة طلقات	salvo

(ش)

شحنة صفية	row charge
شحنة متفجرة (في رأس قذيفة)	payload
شد	tension
شفه	lip
شقوق	cracks
شهب	meteorites

(ص)

صف	row
صنف	species

(ض)

الضغط الحاجز	confining pressure

(ط)

طاقة الانفجار	explosive energy
طبق	plate
طبقة صخرية مائية	aquifer

(ظ)

ظاهرية	phenomenology

(ع)

العادم	exhaust
عمر نصفي	half-life
عمق مقاس	scaled depth
عمليات الحماية	logistics
العملية التي تغير شكل قشرة الأرض	tectonics

(غ)

غرين	silt, alluvium
غلاف	mantle

(ف)

فاصل	divide, interval
فجوة	cavity
فضالة	residue

الفعل المتبادل	interaction
فوق البلوتونيات	trans-plutonics
فوق البلوتونيوم	trans-plutonium
فوق اليورانيات	trans-uranics
فوق اليورانيوم	trans-uranium
فوهة	crater
في آن واحد	simultaneous
فيض	flux

(ق)

قالب	matrix
قدرة	capacity, output
القدرة على الاحتمال	tolerance
قذف الشظايا	spall
قذفي	ballistic
القشرة	crust
قشرة الأرض المدفوعة الى أعلى	upthrust
القلب	core
قمة	peak
قوانين القياس	scaling laws
قوة الدفع	momentum
القياس	Scaling, measurement
قيم نقدية مخصومة	discounted money values
قيمة الذروة	amplitude

(ك)

كبر	size
الكسح أو الاكتساح	scavenging
كسرة	fragment
كهف	cavern

(ل)

ترقيم	labeling

(م)

مائع	fluid
متتال	sequential
متحد المركز	concentric
متخلف	residual
متكثف	condensate
مجسم القطع الناقص	ellipsoid
مجموعة مرتبة	array
مجموعة كتل أو ركام	aggregate
محاكاة	simulation
المحيط اليابس	lithosphere
المحيط الواهن	asthenosphere
مخاطر	hazards
مرن	elastic
مستقر	stable

induced	مستحث
retorting	المعالجة الحرارية
implications	معطيات
retort	معوجة
scaled	مقاس
magnitude	مقدار
of the order of	من رتبة
cross-section	مقطع فعال
exclusion area	منطقة منع
buffer	منظم
melt	منصهر
procedure	منهج
emplacement	موضع

(ن)

scattering	نشر
plateau	نجد
zone	نطاق
water table	النطاق المائي
permeable	نفاذ
permeability, transmission	نفاذية
break-even point	نقطة التوازن
vehicular	النقل المركبي
prototype	نموذج أولي
nucleus	نواة

نويدة	nuclide
نيوكليون	nucleon

(و)

وسيلة الوصول	access

(ي)

يجهد	stress
يتوهج	flare
يدل ضمناً	imply
يزيح	displace
يستحث	induce
تستقطب	polarize
يعود فيتضام	recompact

بعض الرموز المتكررة

الرموز	المدلول	الرمز بالانجليزي
ب ، ت	البحث والتطوير	R & D
ب ل	بانل	PL
ت ن س	تفجير نووي سلمي	PNE
ت هـ ض	تشريخ هيدروليكي ضخم	MHF
ح	حصيلة الانفجار	W
غ ط م	غازي طبيعي مسال	LNG
ف أ	فولت الكتروني	eV
ك ط	كيلو طن	KT
كو	كوري	Ci
ل ت	لجنة تقنية	TC
ل ط ذ أ	لجنة الطاقة الذرية الامريكية	USAEC
م أ ن	مركز اختبارات نفادا	NTS
م ح ج أ	معاهدة الحظر الجزئي للاختبارات	PTBT
م ط	ميجاطن	MT
م ع	متفجر عـالِ	HE
م ف أ	مليون فولت الكتروني	MeV
م م أ	معاهدة منع الانتشار	NPT
م ن	متفجر نووي	NE
و د ط ذ	الوكالة الدولية للطاقة الذرية	IAEA

الثمن : ٢٥ ل . ل . أو مَا يعَادِلهَا